



**TUGAS AKHIR - MN 184802**

**ANALISIS UMUR KELELAHAN PILAR PENYANGGA  
*HELIDECK* PADA KAPAL PATROLI LEPAS PANTAI**

**Reza Pahlawan Nasution  
NRP 0411154000014**

**Dosen Pembimbing  
Mohamad Nurul Misbah, S.T., M.T**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2020**





**TUGAS AKHIR - MN 184802**

**ANALISIS UMUR KELELAHAN PILAR PENYANGGA  
*HELIDECK* PADA KAPAL PATROLI LEPAS PANTAI**

**Reza Pahlawan Nasution  
NRP 04111540000014**

**Dosen Pembimbing  
Mohamad Nurul Misbah, S.T., M.T**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2020**







**FINAL PROJECT - MN 184802**

# **FATIGUE ANALYSIS OF HELIDECK SUPPORTING PILLARS ON OFFSHORE PATROL SHIP**

**Reza Pahlawan Nasution  
NRP 04111540000014**

**Supervisor  
Mohamad Nurul Misbah, S.T., M.T**

**DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE  
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA  
2020**



# LEMBAR PENGESAHAN

## ANALISIS UMUR KELELAHAN PILAR PENYANGGA *HELIDECK* PADA KAPAL PATROLI LEPAS PANTAI

### TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

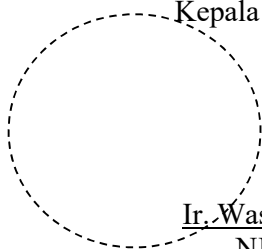
**Reza Pahlawan Nasution**  
NRP 04111540000014

Disetujui oleh:

Dosen Pembimbing

Mohamad Nurul Misbah, S.T., M.T  
NIP 19730404 199702 1 001

Mengetahui,  
Kepala Departemen Teknik Perkapalan



Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.  
NIP 19640210 198903 1 001



SURABAYA, 17 JULI 2020



# LEMBAR REVISI

## ANALISIS UMUR KELELAHAN PILAR PENYANGGA *HELIDECK* PADA KAPAL PATROLI LEPAS PANTAI

### TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir  
Tanggal 07 Agustus 2020

Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**Reza Pahlawan Nasution**  
NRP 04111540000014

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

1. Totok Yulianto, S.T., M.T. ....
2. Dony Setyawan, S.T., M.Eng. ....
3. Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D. ....
4. Wing Hendropasetyo Akbar Putra, S.T., M.Eng. ....

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Mohamad Nurul Misbah, S.T., M.T. ....



SURABAYA, 07 AGUSTUS 2020



## **HALAMAN PERUNTUKAN**

Dipersembahkan kepada kedua orang tua atas segala dukungan dan doanya





## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas karunianya Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.

Pada kesempatan ini Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu penyelesaian Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Mohamad Nurul Misbah, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing atas bimbingan dan motivasinya selama pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini;
2. Dosen RMK Konstruksi dan Kekuatan Kapal selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan sarannya untuk perbaikan Laporan Tugas Akhir ini;
3. Mohamad Nurul Misbah, S.T., M.T selaku Kepala Laboratorium Desain Kapal Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS atas bantuannya selama pengerjaan Tugas Akhir ini dan atas ijin pemakaian fasilitas laboratorium;
4. Kedua orang tua, Bahrum Saleh Nasution dan Afrida Tanjung yang selalu memberikan dukungan, motivasi dan doa selama perkuliahan saya di ITS
5. Vivi Kristiana yang telah memberikan support dan motivasi kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir;
6. Teman seperjuangan APEX NA UMAK yang selalu bersama-sama saling membantu dalam mengerjakan Tugas Akhir;
7. M. Hafiz Nurwahyu Aliffrananda, Rizky Chandra Ariesta, Raja Andhika Rizki Ramadhani, Aryo Pangestu, dan Albert Caesario yang telah membantu, memberikan saran dan masukan dalam pengerjaan Tugas Akhir mulai dari awal hingga akhir;
8. Pihak-pihak lain yang turut membantu dalam pengerjaan tugas akhir kelas ini yang tidakbisa penulis tuliskan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, sehingga kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan. Akhir kata semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak.

Surabaya, 17 Juli 2020

Reza Pahlawan Nasution



# ANALISIS UMUR KELELAHAN PILAR PENYANGGA *HELIDECK* PADA KAPAL PATROLI LEPAS PANTAI

Nama Mahasiswa : Reza Pahlawan Nasution  
NRP : 04111540000014  
Departemen / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan  
Dosen Pembimbing : Mohamad Nurul Misbah, S.T., M.T

## ABSTRAK

Dalam mendesain suatu struktur perlu diperhatikan angka keamanan untuk menghindari terjadinya kecelakaan terutama pada area dimana pusat kegiatan terjadi. Angka keamanan ini dapat ditingkatkan dengan mengikuti peraturan perencanaan pembangunan struktur yang ada. Jika pembangunan suatu struktur tidak mengikuti peraturan pembangunan tersebut tentunya akan mengurangi angka keamanan yang dapat menyebabkan kegagalan dari struktur. Kelelahan merupakan salah satu faktor yang dapat menyebabkan suatu struktur dapat mengalami kegagalan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui umur kelelahan pada struktur pilar yang menyangga *helideck* Kapal Patroli Lepas Pantai dimana terjadi pusat kegiatan dibawah *helideck* tersebut sehingga perlunya mengetahui angka keamanan pada struktur tersebut. Pemodelan struktur dilakukan dengan pemodelan elemen hingga secara global. Dari analisis tegangan global didapatkan lokasi kritis yaitu sambungan *bracket* dengan pilar 2 untuk selanjutnya ditinjau dalam analisis tegangan pada lokasi tinjauan. Hasil simulasi tegangan nominal pada lokasi kritis yang ditinjau adalah 27,82 MPa. Setelah itu nilai tegangan tersebut diaplikasikan pada analisa retak untuk menentukan nilai *stress intensity factor* (SIF), laju perambatan retak, jumlah siklus dan umur kelelahan struktur. Dengan itu didapatkan nilai *stress intensity factor* (SIF) retak awal dari struktur pilar penyangga *helideck* sebesar 3,38 MPa $\sqrt{\text{m}}$  dan laju perambatan retak awal yaitu 1,34E-10 m/cycle. Sedangkan untuk retak akhir, *stress intensity factor* dari struktur adalah 33,73 MPa $\sqrt{\text{m}}$  dengan laju perambatan retak sebesar 3,87E-07 m/cycle. Setelah itu didapatkan jumlah siklus dari retak awal sampai retak kritis sebesar 2,96E+09 cycle. Umur kelelahan struktur pilar penyangga *helideck* menggunakan pendekatan *fracture mechanics* dengan asumsi operasional kapal sebesar 80% adalah selama 95,52 tahun.

Kata kunci: *helideck*, pilar, *fracture mechanics*, *stress intensity factor*, perambatan retak.



# **FATIGUE LIFE ANALYSIS OF HELIDECK SUPPORTING PILLARS ON OFFSHORE PATROL SHIP**

Author : Reza Pahlawan Nasution  
Student Number : 04111540000062  
Department / Faculty : Naval Architecture / Marine Technology  
Supervisor : Mohamad Nurul Misbah, S.T., M.T

## **ABSTRACT**

In designing a structure, it is necessary to consider safety factor to avoid accidents in the area where center of activity occurs. This safety factor can be identified by following the existing rules of construction provide by classification society. If the construction of the structure does not following the rules of construction, then it will reduce the safety factor that can cause structural failure. Fatigue is one of the factors that can cause structural failure. This research was conducted to determine the fatigue life of the pillar structure that supports helideck on Offshore Patrol Ship where the center of activity occurs under the helideck where the result is necessary to determine the safety factor of the structure. Structure modelling is done by utilize finite element analysis software. From the global stress analysis, critical location is obtained on bracket and pillar connection on pillar 2 for further review in the stress analysis at the observed location. Nominal stress simulation results is 27,82 Mpa. After that the stress value is applied to crack analysis to determine the value of stress intensity factor (SIF), crack propagation rate, number of cycles and fatigue life of the structure. The stress intensity factor (SIF) of the initial crack obtained from the helideck supporting pillar structure is 3,38 MPa√m and the initial crack propagation rate is 1,34E-10 m/cycle. As for the final crack, the stress intensity factor (SIF) is 33,73 MPa√m with crack propagation rate of 3,87E-07 m/cycle. After that, the number of cycles from initial crack to final crack is obtained with result of 2,96E+09 cycle. Fatigue life of helideck supporting pillar structure using fracture mechanic approach with 80% of ship operational is 95,52 years.

Keywords: *helideck, pillar, fracture mechanics, stress intensity factor, crack propagation.*



# DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	v
LEMBAR REVISI.....	vii
HALAMAN PERUNTUKAN.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
ABSTRAK.....	xiii
ABSTRACT .....	xv
DAFTAR ISI .....	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xxi
DAFTAR TABEL .....	xxiii
DAFTAR SIMBOL .....	xxv
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang Masalah .....	1
1.2. Perumusan Masalah .....	2
1.3. Tujuan .....	2
1.4. Batasan Masalah .....	2
1.5. Manfaat .....	3
1.6. Hipotesis .....	3
BAB 2 STUDI LITERATUR.....	5
2.1. Dasar Teori .....	5
2.1.1. Kapal Patroli .....	5
2.1.2. <i>Shipboard Heliport</i> .....	5
2.1.3. Pilar .....	6
2.1.4. Beban-beban pada <i>Helideck</i> .....	7
2.1.5. Tegangan.....	8
2.1.6. Jenis Tegangan.....	9
2.1.7. Tegangan Izin Maksimum .....	10
2.1.8. Olah Gerak Kapal .....	10
2.1.9. Beban Gelombang.....	11
2.1.10. Metode Elemen Hingga (MEH).....	13
2.1.11. Kelelahan .....	14
2.1.12. Konsep Perhitungan Kelelahan.....	15
2.1.13. Siklus Rentang Tegangan .....	15
2.1.14. Metode S-N Curve .....	18
2.1.15. Mekanisme Kepecahan .....	20
2.1.16. Metode <i>Fracture Mechanics</i> .....	22
2.1.17. <i>Stress Intensity Factor</i> .....	23
2.1.18. Kedalaman Retak Kritis .....	24
2.1.19. <i>Crack Propagation</i> .....	24
2.2. Tinjauan Pustaka.....	25
2.2.1. Kapal Patroli .....	25
2.2.2. Helikopter Dauphin AS365 – Kepolisian Republik Indonesia .....	26
2.2.3. Konstruksi <i>Shipboard Heliport</i> .....	27
2.2.4. Optimasi Konstruksi Pilar Penyangga <i>Helideck</i> KP YUDISTIRA 73 Meter...28	

2.2.5. Analisis Umur Kelelahan Sambungan <i>Bracket Topside Module FPSO</i> Menggunakan <i>Fracture Mechanics</i> .....	29
2.2.6. Baja AH-36 .....	29
BAB 3 METODOLOGI.....	31
3.1. Bagan Alir .....	31
3.2. Studi Literatur .....	32
3.3. Pengumpulan Data .....	32
3.3.1. Ukuran Utama .....	32
3.3.2. Rencana Umum .....	32
3.3.3. <i>Construction Profile</i> .....	33
3.3.4. <i>Helideck Construction Drawing</i> .....	34
3.3.5. <i>After Construction Drawing</i> .....	35
3.3.6. Spesifikasi Helikopter .....	37
3.3.7. Data Lingkungan .....	38
3.4. Permodelan Hidrodinamis.....	39
3.5. Perhitungan Beban dan Titik Pendaratan .....	41
3.5.1. Perhitungan Beban .....	41
3.5.2. Skenario Titik Pendaratan .....	42
3.6. Permodelan Struktur .....	44
3.7. Kondisi Batas dan Pembebanan .....	46
3.8. Perhitungan Umur Kelelahan .....	47
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN .....	49
4.1. Analisa Hidrodinamis .....	49
4.1.1. Validasi Model .....	49
4.1.2. Percepatan Olah Gerak Kapal .....	49
4.1.3. Perhitungan Beban .....	51
4.2. Analisa Tegangan.....	52
4.2.1. Batas Tegangan Izin Maksimum.....	52
4.2.2. Lokasi Tinjauan Struktur .....	52
4.2.3. Analisa Tegangan pada Lokasi Tinjauan dan Titik Pendaratan .....	53
4.3. Perhitungan Umur Kelelahan .....	55
4.3.1. Penentuan Lokasi Kritis .....	55
4.3.2. Perhitungan Kedalaman Retak Kritis .....	56
4.3.3. Perhitungan <i>Stress Intensity Factor</i> .....	57
4.3.4. Analisa <i>Crack Propagation</i> .....	60
4.3.5. Umur Kelelahan .....	61
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....	65
5.1. Kesimpulan .....	65
5.2. Saran.....	65
DAFTAR PUSTAKA .....	67
LAMPIRAN	
Lampiran A Rencana Garis Kapal Patroli Lepas Pantai	
Lampiran B Rencana Umum Kapal Patroli Lepas Pantai	
Lampiran C <i>Construction Profile</i> Kapal Patroli Lepas Pantai	
Lampiran D <i>After Construction</i> Kapal Patroli Lepas Pantai	
Lampiran E <i>Helideck Construction</i> Kapal Patroli Lepas Pantai	
Lampiran F Perhitungan Analisis Hidrodinamis	
Lampiran G Perhitungan Pembebanan	
Lampiran H Perhitungan <i>Stress Intensity Factor</i> dan Umur Kelelahan	



Lampiran I Katalog Baja ASTM 131 AH36  
Lampiran J Katalog Helikopter Dauphin AS 365 N3  
BIODATA PENULIS



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Zona Pendaratan Pada <i>Helideck</i> .....	6
Gambar 2. 2 Jenis Tegangan.....	10
Gambar 2. 3 Olah Gerak Kapal .....	11
Gambar 2. 4 Gelombang <i>Reguler</i> dan Gelombang <i>Irreguler</i> .....	11
Gambar 2. 5 Siklus Rentang Tegangan .....	16
Gambar 2. 6 Jenis Rentang Tegangan .....	17
Gambar 2. 7 Tahapan Perambatan Retak .....	21
Gambar 2. 8 Tiga Mode Deformasi Retak .....	23
Gambar 2. 9 Kapal Patroli .....	26
Gambar 2. 10 Rencana Umum Kapal Patroli .....	26
Gambar 2. 11 Dauphin AS365 .....	27
Gambar 2. 12 Kontruksi <i>Helideck</i> Beserta Kontruksi Melintang dan Memanjang.....	28
Gambar 2. 13 <i>After Construction</i> Kapal Patroli .....	28
Gambar 3. 1 Bagan Alir Pengerjaan Tugas Akhir.....	31
Gambar 3. 2 Rencana Umum Kapal Patroli .....	33
Gambar 3. 3 <i>Construction Profile</i> Kapal Patroli .....	34
Gambar 3. 4 <i>Helideck Construction</i> Kapal Patroli .....	35
Gambar 3. 5 <i>After Construction</i> Kapal Patroli .....	36
Gambar 3. 6 Spesifikasi Dimensi Helikopter AS 365 Dauphin (A).....	37
Gambar 3. 7 Spesifikasi Dimensi Helikopter AS 365 Dauphin (B).....	38
Gambar 3. 8 Permodelan Lambung Kapal Patroli.....	39
Gambar 3. 9 Kurva Luasan RAO <i>Heaving</i> .....	40
Gambar 3. 10 Kurva Luasan RAO <i>Pitching</i> .....	41
Gambar 3. 11 <i>Meshing</i> Geometri .....	41
Gambar 3. 12 Posisi <i>Helideck</i> dari Kapal Patrol Lepas Pantai.....	42
Gambar 3. 13 Skenario Pendaratan 1 (LP 1) .....	43
Gambar 3. 14 Skenario Pendaratan 2 (LP 2) .....	43
Gambar 3. 15 Skenario Pendaratan 3 (LP 3) .....	43
Gambar 3. 16 Permodelan Struktur Global .....	44
Gambar 3. 17 Kurva Konvergensi Ukuran Elemen <i>Helideck</i> .....	45
Gambar 3. 18 Kurva Konvergensi Ukuran Elemen Pilar .....	46
Gambar 3. 19 <i>Fixed Support</i> .....	46
Gambar 3. 20 Input Pembebanan .....	47
Gambar 4. 1 Hasil Simulasi Percepatan Gerak <i>Heave</i> .....	50
Gambar 4. 2 Hasil Simulasi Percepatan Gerak <i>Pitch</i> .....	50
Gambar 4. 3 Lokasi Tinjauan Analisa Tegangan .....	53
Gambar 4. 4 Hasil Simulasi Tegangan <i>Von Misses</i> untuk Struktur Global.....	54
Gambar 4. 5 Hasil Simulasi Tegangan <i>Von Misses</i> untuk Lokasi Tinjauan.....	54
Gambar 4. 6 Ilustrasi Titik Sambungan yang Ditinjau .....	55
Gambar 4. 7 Tegangan Normal Pada Pilar 2 .....	57
Gambar 4. 8 Lokasi Retak Awal .....	58
Gambar 4. 9 Lokasi Retak Akhir.....	58
Gambar 4. 10 <i>Output</i> Simulasi Retak Awal .....	59

Gambar 4. 11 <i>Output</i> Simulasi Retak Akhir .....	59
Gambar 4. 12 Nilai <i>Stress Intensity Factor</i> .....	60
Gambar 4. 13 Kurva Perambatan Retak .....	61
Gambar 4. 14 Grafik Hubungan Umur Kelelahan dengan Kedalaman Retak .....	62
Gambar 4. 15 Grafik Hubungan Umur Kelelahan dengan Kedalaman Retak Operasional 80% .....	63

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 SIF untuk Beberapa Geometri .....	23
Tabel 2. 2 Ringkasan Hasil Uji <i>Fracture Toughness Properties</i> HSLA Steel Grades .....	29
Tabel 2. 3 Ringkasan Hasil Uji Fatigue Crack Growth .....	30
Tabel 3. 1 Ukuran Utama.....	32
Tabel 3.2 Rekapitulasi Ukuran Konstruksi <i>Helideck</i> .....	36
Tabel 3.3 Persentase Gelombang Setiap Arah.....	38
Tabel 3.4 <i>Joint probability</i> Gelombang 100 Tahun – <i>W Direction</i> .....	39
Tabel 3. 5 Konvergensi Elemen .....	40
Tabel 3. 6 Variasi pada Sudut Hadap 0° .....	42
Tabel 3. 7 Konvergensi Ukuran Elemen <i>Helideck</i> .....	45
Tabel 3. 8 Konvergensi Ukuran Element Pilar.....	45
Tabel 3. 9 Besar Pembebanan.....	47
Tabel 4. 1 Validasi Model Lambung.....	49
Tabel 4. 2 Percepatan Gerak <i>Heave</i> (m/s <sup>2</sup> ).....	50
Tabel 4. 3 Percepatan Gerak <i>Pitch</i> (rad/s <sup>2</sup> ).....	51
Tabel 4. 4 Beban Akibat Gerak <i>Heave</i> (kN) .....	51
Tabel 4. 5 Beban Akibat Gerak <i>Pitch</i> (kN) .....	51
Tabel 4. 6 Hasil Simulasi Variasi Arah Beban (MPa).....	53
Tabel 4. 7 Nilai SIF Pada Titik yang Ditinjau .....	56
Tabel 4. 8 Nilai <i>Stress Intensity Factor</i> .....	60
Tabel 4.9 Laju Perambatan Retak.....	60
Tabel 4. 10 Umur Kelelahan Setiap Tahap Perambatan Retak .....	61
Tabel 4. 11 Umur Kelelahan Setiap Tahap Perambatan Retak Operasional 80% .....	62



## DAFTAR SIMBOL

$t_w$	= Tebal dinding pilar
$d_a$	= Diameter luar pilar
$P_s$	= Beban pilar
$\sigma_{perm}$	= Tegangan izin
$A_{req}$	= Luas penampang minimum pilar
$\sigma_H$	= Tegangan Horizontal ( $N/m^2$ )
$\sigma_V$	= Tegangan Vertikal ( $N/m^2$ )
$M_z$	= Momen lengkung horizontal ( $N.m$ )
$M_y$	= Momen lengkung vertikal ( $N.m$ )
$I_{CL}$	= Momen inersia terhadap <i>centerline</i> ( $m^4$ )
$I_{NA}$	= Momen inersia terhadap <i>neutral axis</i> ( $m^4$ )
$z$	= Jarak titik tinjau dari <i>neutral axis</i> (m)
$y$	= Jarak titik tinjau dari <i>centerline</i> (m)
$\sigma_T$	= Tegangan Total ( $N/m^2$ )
$m$	= Massa (kg)
$a$	= Percepatan ( $m/s^2$ )
$I$	= Momen inersia ( $kg.m^2$ )
$\alpha$	= Percepatan putar ( $rad/s^2$ )
$N_0$	= Total jumlah siklus dalam periode jangka panjang selama masa hidup
$S_0$	= Rentang tegangan maksimum dalam setiap $N_0$ cycles
$\xi$	= Parameter bentuk dari distribusi <i>Weibull</i> untuk siklus tegangan berulang
$K_2$	= Parameter material dari S-N Curve
$m$	= Parameter material dari S-N Curve
$\Gamma$	= Fungsi gamma
$Loa$	= <i>Length over all</i>
$L_{pp}$	= <i>Length perpendicular</i>
$T$	= <i>Draft</i>
$B$	= <i>Breadth</i>
$\Delta K$	= <i>range</i> faktor intensitas tegangan ( $Mpa\sqrt{m}$ )
$K$	= faktor intensitas tegangan ( $Mpa\sqrt{m}$ )
$K_c$	= harga kritis K ( $Mpa\sqrt{m}$ )
$R$	= rasio tegangan
$a_{cr}$	= kedalaman retak kritis, m
$K_{IC}$	= material <i>fracture toughness</i> ( $Mpa\sqrt{m}$ )
$\sigma_{max}$	= tegangan normal maksimum (MPa)
$a_f$	= <i>failure crack</i> , panjang retak setelah pembebanan hingga gagal (m)
$a_o$	= <i>initial crack</i> , panjang retak pada waktu permulaan (m)





# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang Masalah**

Kapal yang berlayar di perairan Indonesia tentu memiliki banyak ragam. Terdapat kapal yang digunakan penduduk sipil, perusahaan komersil, hingga militer. Salah satu kapal yang beroperasi di perairan Indonesia adalah Kapal Patroli Lepas Pantai. Kapal Patroli Lepas Pantai ini merupakan salah satu kapal yang berfungsi melakukan patroli di sekitar perairan Indonesia. Kapal yang dituntut untuk cepat dalam melaksanakan tugas patroli ini tentu beroperasi pada medan perairan yang beraneka ragam, sehingga tidak menutup kemungkinan terjadinya kerusakan yang dapat membuat suatu struktur gagal.

Dalam Kapal Patroli Lepas Pantai tentunya terdapat fasilitas-fasilitas yang menunjang produktifitas dari awak kapal. Salah satu fasilitas yang terdapat dalam Kapal Patroli Lepas Pantai adalah *helideck* yang berfungsi sebagai fasilitas pendaratan helikopter dan juga area apel yang terdapat di bagian haluan. Area tersebut terletak dibawah *helideck* yang disangga dengan pilar. Area apel ini tentunya merupakan area yang penting sehingga dibutuhkan struktur yang memiliki angka keamanan yang cukup. Angka keamanan ini dapat ditingkatkan dengan mengikuti peraturan perencanaan pembangunan struktur yang ada. Jika pembangunan suatu struktur tidak mengikuti peraturan pembangunan tersebut tentunya akan mengurangi angka keamanan yang dapat menyebabkan kegagalan dari struktur. Salah satu penyebab utama kerusakan dari suatu struktur adalah kelelahan (*fatigue*) yang terjadi baik di komponen struktur utama ataupun struktur sekunder dan tersier (Djarmiko, 2003)

Salah satu faktor yang mempengaruhi tingkat kelelahan dari suatu struktur adalah beban lingkungan yang fluktuatif. Untuk Kapal Patroli Lepas Pantai, salah satu beban lingkungan yang mempengaruhi strukturnya adalah beban gelombang. Beban gelombang adalah beban yang bekerja pada lambung kapal yang dipengaruhi oleh tinggi gelombang, sudut hadap kapal dan kecepatan dari kapal. Gelombang di perairan tentunya bersifat acak sehingga struktur merespon beban tersebut secara dinamis yang dapat menyebabkan kelelahan dari struktur tersebut. Kelelahan pada struktur yang dibiarkan akan menyebabkan kegagalan pada struktur jika sudah melewati umur kelelahannya. Dikarenakan permasalahan tersebut, maka perlu

adanya peninjauan kelelahan pada struktur kapal sehingga dapat diketahui langkah *maintenance* dari struktur tersebut.

### **1.2. Perumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang di atas, permasalahan yang akan dikaji dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana mengetahui kekuatan struktur pilar penyangga *helideck* pada Kapal Patroli Lepas Pantai menurut regulasi BKI?
2. Bagaimana menghitung umur kelelahan struktur pilar penyangga *helideck* pada Kapal Patroli Lepas Pantai dengan metode *Linear Elastic Fracture Mechanics*?

### **1.3. Tujuan**

Adapun tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Mengetahui kekuatan struktur pilar penyangga *helideck* pada Kapal Patroli Lepas Pantai menurut regulasi BKI.
2. Menghitung umur kelelahan struktur pilar penyangga *helideck* pada Kapal Patroli Lepas Pantai dengan metode *Linear Elastic Fracture Mechanics*.

### **1.4. Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah dari penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Kapal patroli yang akan dianalisa adalah Kapal Patroli Kelas A2 yang memiliki panjang 73 m, lebar 11,35 m, dan tinggi 5,5 m
2. Perhitungan dilakukan dengan kondisi sarat penuh.
3. Pemodelan dilakukan dengan bantuan *software* analisis elemen hingga.
4. Model konstruksi yang digunakan adalah konstruksi yang sudah optimal dari Tugas Akhir yang sudah dianalisis.
5. Analisis hidrodinamis yang diperhitungkan adalah olah gerak kapal akibat gerak *heaving* dan *pitching*.
6. Variasi posisi helikopter dilakukan pada 3 titik pendaratan pada *heliport* sepanjang *centerline*.

### **1.5. Manfaat**

Manfaat dari dibuatnya Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Sebagai informasi penting dalam perkembangan pengetahuan di bidang teknologi perkapalan.
2. Sebagai sarana pengaplikasian ilmu yang telah dipelajari selama perkuliahan dan sarana pemahaman mengenai *finite element software*.
3. Berguna dalam memperkaya referensi ilmu pengetahuan di bidang konstruksi kapal.

### **1.6. Hipotesis**

Struktur pilar penyangga *helideck* pada Kapal Patroli Lepas Pantai memiliki umur kelelahan yang melebihi *design life*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

## **BAB 2**

### **STUDI LITERATUR**

#### **2.1. Dasar Teori**

Dasar teori memberikan penjelasan mengenai pengertian dan teori-teori yang berkaitan dengan tujuan yang telah disusun agar berkesinambungan antara tujuan, proses dan hasil.

##### **2.1.1. Kapal Patroli**

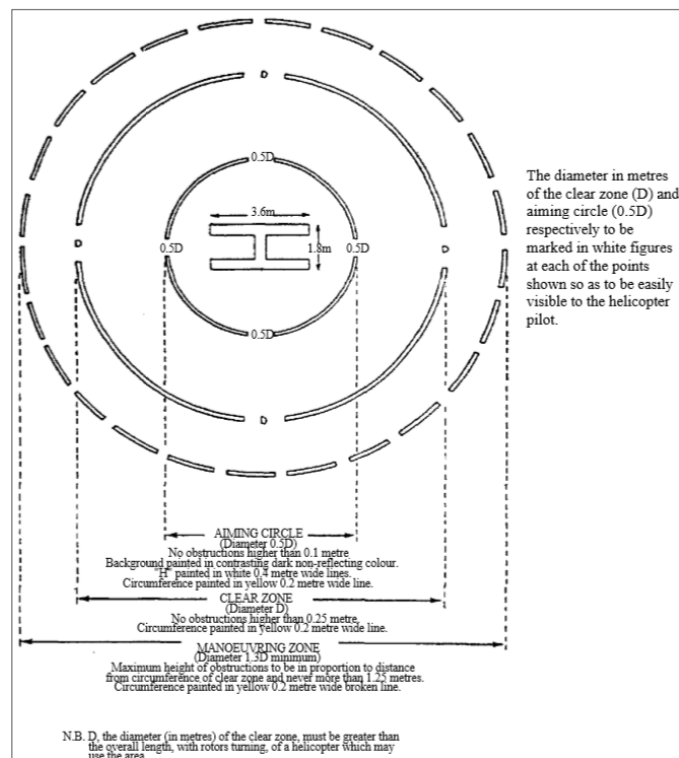
Pengertian kapal sesuai dengan peraturan PP. No 82 tahun 1999 adalah kendaraan air dengan bentuk dan jenis apa pun yang digerakan dengan tenaga mekanik, tenaga mesin, atau tunda, termasuk kendaraan berdaya dukung dinamis, kendaraan dibawah permukaan air, serta alat apung dan bangunan terapung yang berpindah-pindah (Suranto, 2004). Sedangkan kapal patroli adalah angkatan laut kecil, penjaga pantai atau kapal polisi, berukuran lebih kecil daripada korvet, umumnya terlibat dalam berbagai peran perlindungan perbatasan, termasuk anti-penyelundupan, anti-teroris, anti-pembajakan, perikanan (Det Norske Veritas, 2010)

##### **2.1.2. *Shipboard Heliport***

Pengertian dari *shipboard heliport* adalah area yang diperuntukan untuk pengoperasian helikopter yang berada pada haluan kapal atau buritan kapal atau struktur bangunan di atas kapal (Kementerian Perhubungan, 2015). *Final Approach and Take-Off Area* (FATO) dapat bermacam-macam bentuk, sepanjang luasnya dapat menampung sebuah lingkaran yang mempunyai garis tengah minimal 1 (satu) kali panjang keseluruhan helikopter terbesar beserta rotornya yang akan dioperasikan pada *helideck* (1D). *Heliport* harus memiliki daya dukung yang cukup menampung bagi *helicopter performance class 1* pada saat melakukan *rejected take-off* dengan aman dan memiliki daya dukung yang cukup menampung beban statis bagi *helicopter performance class 2 & 3*. *Shipboard heliport* wajib memiliki minimal 1 (satu) buah *Touchdown and Lift-Off Area* (TLOF) dimana TLOF tersebut dapat berhimpitan atau menjadi satu dengan FATO. Daya dukung konstruksi TLOF harus mampu menampung beban dinamis helikopter sebesar 2,5 kali *Maximum Take-Off Mass* (MTOM) helikopter terbesar yang dilayani.

Menurut pada konvensi IMO tahun 1999, fasilitas *heliport* harus memperhatikan hubungan antara tiga pembagian area yaitu zona pendaratan (*Aiming Circle*), zona bebas (*Clear Zone*), dan zona manuver (*Maneuvering Zone*). Zona pendaratan helikopter berada di tengah

zona bebas dengan diameter setengah dari diameter zona bebas. Permukaan harus anti slip agar memudahkan saat pendaratan helikopter. Zona bebas memiliki diameter tergantung dari area pendaratan yang tersedia atau harus lebih besar sama dengan panjang keseluruhan dari helikopter yang akan mendarat. Di daerah zona bebas tidak ada benda yang tingginya lebih dari 0,25 meter. Zona *maneuver* merupakan daerah pendaratan yang luas dimana helikopter dapat melakukan *maneuver* dengan diameter minimal 1,3x diameter zona bebas. Ketinggian benda daerah *maneuver* berkisar 0,25-1,25 meter. Berikut merupakan hubungan antara tiga pembagian area yaitu zona pendaratan yang ditampilkan pada Gambar 2. 1:



Gambar 2. 1 Zona Pendaratan Pada *Helideck*  
(sumber: IMO, 1999)

### 2.1.3. Pilar

Penggunaan kontruksi pilar pada kapal diatur dalam (BKI, 2017) sebagai penumpu dan penguat kontruksi geladak. Pengertian dari pilar adalah *vertical support member* pada sebuah struktur bangunan dan dapat dibuat sebagai sepotong kayu, beton atau baja, atau dibangun dari batu bata, balok dan sebagainya. Pilar memiliki fungsi sebagai pemikul beban atau penyalur beban tekan dari struktur yang dipikulnya menuju ke struktur yang ada di bawah pilar itu sendiri. Pilar pada kapal diaplikasikan sebagai pemikul beban geladak yang ada di atasnya. Pada umumnya, pipa pada kapal baja berbentuk silindris (pipa) dengan diameter dan ketebalan tertentu. Beban yang dialami oleh pilar didominasi oleh beban vertikal. Penentuan penggunaan

pilar pada kapal pada umumnya dilihat dari dua parameter yaitu tebal dinding pilar ( $t_w$ ) dan diameter luar pilar ( $d_a$ ). Ketebalan minimum dinding pipa dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$t_w = 4,5 + (0,015) \times d_a \text{ [mm]}, \text{ (untuk } d_a < 300 \text{ mm)} \quad (2.1)$$

$$t_w = (0,03) \times d_a \text{ [mm]}, \text{ (untuk } d_a > 300 \text{ mm)} \quad (2.2)$$

Luas penampang minimum pilar secara langsung dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu beban yang dipikul oleh pilar itu sendiri ( $P_s$ ) dan besarnya tegangan izin yang mampu dialami oleh pilar tersebut ( $\sigma_p$ ). Berdasarkan peraturan Biro Klasifikasi Indonesia dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$A_{req} = 10 \times (P_s / \sigma_p) \quad (2.3)$$

#### 2.1.4. Beban-beban pada *Helideck*

Pembebanan yang terjadi pada *helideck* diambil dari beberapa gaya yang berbeda. Gaya-gaya tersebut adalah gaya yang disebabkan oleh pendaratan helikopter (*landing force*), beban angin yang disebabkan oleh perputaran baling-baling helikopter (*wind load*), dan lain-lain. Dalam perhitungan beban dibagi menjadi 4 kasus beban sesuai dengan kondisinya pendaratannya (BKI, 2017).

##### 1. *Load Case 1*

Kondisi dimana helikopter sudah mendarat diatas *helideck*, dapat dihitung menggunakan persamaan 2.4:

$$P = 0,5 \times G(1 + a_v) \quad [\text{kN}] \quad (2.4)$$

- P adalah gaya yang didistribusikan secara merata pada luas sentuh ( $f$ ) seluas  $30 \times 30$  cm untuk roda tunggal atau sesuai data yang diberikan pabrik helikopter. Untuk roda ganda atau kaki ditentukan secara tersendiri sesuai dengan ukuran yang diberikan.
- Penambahan gaya sebesar  $2.0 \text{ kN/m}^2$  yang didistribusikan keseluruhan area *helipad* untuk beban lingkungan.
- Gaya akibat berat *helideck* ( $Me$ ) dengan besar:

$$Me \times (1 + a_v) \quad [\text{kN}] \quad (2.5)$$

##### 2. *Load Case 2*

Kondisi dimana helikopter sudah mendarat diatas *helideck* yang memperhitungkan nilai gaya horizontal pada pengikat (*lashing*), dapat dihitung menggunakan persamaan 2.6:

$$P = 0,5 \times G \quad [\text{kN}] \quad (2.6)$$

- Gaya horizontal di daerah pengikat helikopter (*lashing point*)

$$H = 0,6 \times (G + Me) + W \text{ [kN]} \quad (V_w = 50 \text{ m/s}) \quad (2.7)$$

- Gaya yang bekerja secara vertikal ( $V$ )

$$V = G + Me \quad [\text{kN}] \quad (2.8)$$

- c. Penambahan gaya sebesar  $2.0 \text{ kN/m}^2$  yang didistribusikan keseluruhan area *helipad* untuk beban lingkungan.
- d. Perhitungan beban angin ( $W$ ) sesuai dengan persamaan 2.9 (BKI, 2018).

$$W = 0,5 \cdot \rho \cdot V_w^2 \cdot A \cdot 10^{-3} \quad [\text{kN}] \quad (2.9)$$

### 3. Load Case 3

Gaya benturan pendaratan normal, dengan gaya berikut yang bekerja secara bersamaan.

- a. Beban roda dan/atau beban kaki  $P$  pada 2 titik secara bersamaan, pada titik manapun.
- $$P = 0,75 G \quad [\text{kN}] \quad (2.10)$$
- b. Beban  $p = 0,5 \text{ kN/m}^2$  terdistribusi secara merata.
  - c. Berat geladak helikopter ( $Me$ ).
  - d. Beban angin sesuai dengan kecepatan angin yang dibolehkan untuk pengoperasian helikopter ( $V_w$ ), jika tidak ada data,  $V_w = 25 \text{ m/det}$  dapat digunakan.

### 4. Load Case 4

Kondisi darurat dalam pendaratan helikopter, dan dapat dihitung menggunakan persamaan 2. 11 (Det Norske Veritas, 2008)

$$P = C \cdot g \cdot G \quad [\text{kN}] \quad (\text{dimana } C = 0,3) \quad (2.11)$$

Pada tugas akhir ini, pemilihan kasus pembebanan tidak memasukkan LC 4 karena *heliport* tidak dirancang untuk menerima pendaratan darurat. Sedangkan untuk kasus pembebanan yang lain, dipilih kondisi tegangan global yang paling besar berdasarkan penelitian sebelumnya yaitu LC 2.

#### 2.1.5. Tegangan

Tegangan yang bekerja pada suatu luasan kapal dapat terjadi dari berbagai sumber beban. Salah satu beban tersebut adalah beban gelombang. Tegangan yang diakibatkan gelombang dapat dilakukan sesuai dengan momen lengkung yang terjadi pada kapal, yaitu vertikal dan horizontal (Santosa, 2013). Persamaan untuk menerjemahkan keadaan tersebut dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\sigma_H = \frac{Mz}{I_{CL}} y \quad (2.12)$$

$$\sigma_V = \frac{My}{I_{NA}} z \quad (2.13)$$

Dimana:

$\sigma_H$  = Tegangan horizontal ( $\text{N/m}^2$ )

$\sigma_V$  = Tegangan vertikal ( $\text{N/m}^2$ )



- $M_z$  = Momen lengkung horizontal (N.m)  
 $M_y$  = Momen lengkung vertikal (N.m)  
 $I_{CL}$  = Momen inersia terhadap *centerline* (m<sup>4</sup>)  
 $I_{NA}$  = Momen inersia terhadap *neutral axis* (m<sup>4</sup>)  
 $z$  = Jarak titik tinjau dari *neutral axis* (m)  
 $y$  = Jarak titik tinjau dari *centerline* (m)

Proses tegangan yang terjadi tentunya bukanlah penjumlahan keduanya, melainkan penjumlahan vektor yang terjadi (Santosa, 2013). Maka dari itu total tegangan yang terjadi dapat dilihat pada persamaan dibawah:

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma_H^2 + \sigma_V^2} \quad (2.14)$$

Dimana:

$\sigma_T$  = Tegangan total (N/m<sup>2</sup>)

#### 2.1.6. Jenis Tegangan

Apabila struktur dikenakan beban yang terus meningkat dan akhirnya gagal, maka akan relatif mudah untuk menentukan titik kegagalan suatu struktur untuk kekuatan tarik tunggal. Data-data kekuatan material dapat menjadi acuan pengidentifikasi kekuatan ini. Namun ketika struktur dibebani dengan sejumlah beban dalam arah yang berbeda, beberapa diantaranya tarik dan beberapa diantaranya geser, maka penentuan titik kegagalan lebih rumit. Berdasarkan jenis tegangan yang dipakai dalam perhitungan, perkiraan *fatigue* disebut sebagai “pendekatan *nominal stress*”, “pendekatan *hot spot stress*”, dan “pendekatan *notch stress*” (Wægter, 2009). Berikut adalah penjelasan masing-masing tegangan beserta ilustrasi yang ditunjukkan pada Gambar 2. 2:

##### a. *Nominal Stress*

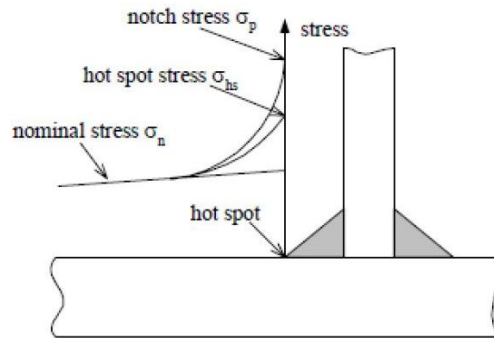
Tegangan yang diperoleh dari hasil *finite element method* dengan *meshing* yang agak kasar berdasarkan pada beban yang digunakan dan dimensi komponen struktur. Ketika menghitung *nominal stress*, meningkatnya tegangan karena adanya diskontinuitas pada geometri struktur dan kekuatan las-lasan dapat diabaikan.

##### b. *Hot-spot Stress*

Tegangan lokal pada daerah kritis (*hot spot*) dalam detail struktur dimana retak kelelahan dapat terjadi. Dalam kasus ini meningkatnya tegangan karena perubahan komponen geometri cukup diperhitungkan, namun efek dari kualitas las-lasan tidak diperhatikan.

c. *Notch Stress*

Tegangan lokal yang meningkat pada suatu *notch*, yaitu pada kaki las-lasan atau didaerah tepi dari suatu potongan. Pendekatan *notch stress* memperhitungkan konsentrasi tegangan yang disebabkan oleh kualitas las-lasan.



Gambar 2. 2 Jenis Tegangan  
(sumber: Blakogevic, B. & Domazet, Z, 2010)

### 2.1.7. Tegangan Izin Maksimum

Tegangan maksimum material pada dasarnya dibatasi oleh titik luluh dan titik pecah material itu sendiri. Namun pada praktisnya, terdapat beberapa faktor yang mungkin tidak terdefinisi sehingga diperlukan perhitungan batas tegangan tertentu yang bisa dianggap aman sekalipun sebuah struktur mengalami kondisi yang ekstrem. Berdasarkan peraturan Biro Klasifikasi Indoneisa, tegangan izin sebuah material dirumuskan sebagai berikut,

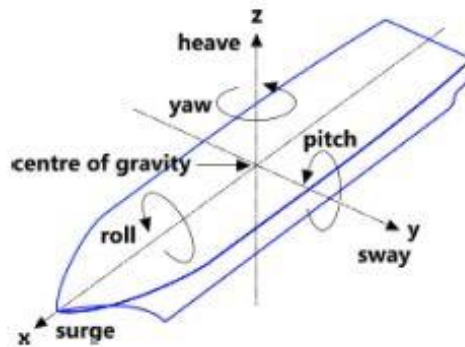
$$\sigma_{perm} = \frac{235}{k \times \gamma f} \quad (2.15)$$

Dimana K adalah faktor material, dan  $\gamma f$  ada faktor keamanan untuk tegangan struktur.

### 2.1.8. Olah Gerak Kapal

Pada dasarnya kapal mengalami 2 jenis gerakan yaitu gerakan translasi dan rotasi. Karena kapal merupakan benda 3 dimensi masing-masing jenis gerakan bergerak terhadap 3 sumbu yaitu sumbu X, Y dan Z. Olah gerak kapal dapat dijabarkan pada sumbu-sumbunya. Gerakan translasi yang dialami kapal antara lain gerakan vertikal naik turun (*heave*) searah sumbu Z, gerakan ke kiri dan ke kanan (*sway*) searah sumbu Y dan gerakan ke arah depan dan belakang (*surge*) searah sumbu X. Gerakan rotasi yang dialami kapal antara lain rotasi terhadap sumbu X (*roll*), rotasi terhadap sumbu Y (*pitch*), dan rotasi terhadap sumbu Z (*yaw*). Jadi, berdasarkan uraian tersebut kapal mengalami 6 macam gerakan saat mendapat gaya dari gelombang saat berada di air laut maupun air tawar. Setiap gerakan memiliki sebuah persamaan

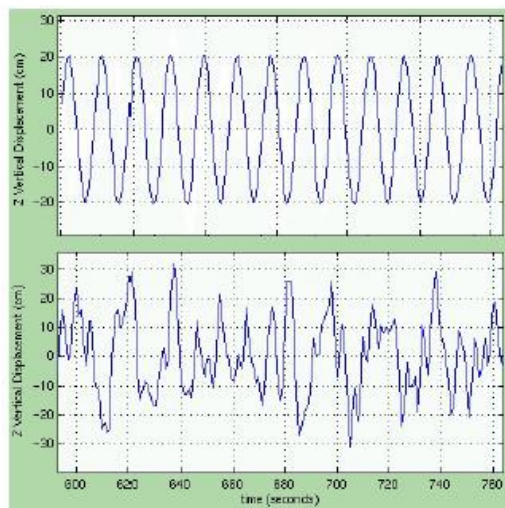
umum yang didalamnya terdapat beberapa komponen (Bhattacharyya, 1978). Berikut (Gambar 2. 3) menunjukkan olah gerak kapal.



Gambar 2. 3 Olah Gerak Kapal  
(sumber: Bhattacharyya, 1978)

### 2.1.9. Beban Gelombang

Pada perhitungan struktur bangunan apung, gelombang yang digunakan dibedakan menjadi 2 (dua) yaitu gelombang *regular* dan gelombang *irregular*. Gelombang *regular* adalah gelombang yang elevasinya mengikuti suatu fungsi sudut. Sedangkan gelombang *irregular* merupakan gelombang yang elevasinya mengalami proses acak (UCSD, 2018). Berikut (Gambar 2. 4) yang menunjukkan gelombang *regular* dan gelombang *irregular*.



Gambar 2. 4 Gelombang *Regular* dan Gelombang *Irregular*  
(sumber: UCSD, 2012)

Keadaan sesungguhnya gelombang laut adalah bukan seperti gelombang *regular* tetapi merupakan suatu bentuk gelombang *irregular*. Periode gelombang pada keadaan laut (*sea state*) didefinisikan sebagai waktu yang terjadinya puncak gelombang yang berurutan sepanjang permukaan air tenang, dimana tinggi gelombang didefinisikan sebagai selisih antara nilai maksimum dan minimum dari satu periode gelombang. Pada interval waktu yang pendek yaitu

dalam beberapa jam, properti statistik dari keadaan laut dapat dianggap konstan, dan laut tersebut dianggap stationer. Besaran–besaran yang dipakai dalam deskripsi gelombang *irregular* adalah sebagai berikut:

- Mean zero crossing period*,  $T_z$  adalah harga rata-rata periode gelombang
- Tinggi gelombang signifikan,  $H_s$  adalah harga rata-rata dari sepertiga gelombang tertinggi
- Spektrum gelombang  $S_{\eta\eta}$  adalah spektrum energi dari elevasi permukaan laut

Dalam perhitungan gaya gelombang, data gelombang yang digunakan adalah gelombang yang terjadi selama umur operasi. Data gelombang dalam kurun waktu operasi tersebut disajikan dalam tabel yang dikenal sebagai *wave scatter diagram*. *Wave scatter diagram* adalah tabel hubungan dimana menunjukkan hubungan antara tinggi signifikan gelombang ( $H_s$ ) dan periode *zero-up crossing* ( $T_z$ ) yang dinotasikan dengan banyaknya kejadian gelombang tersebut. Berikut adalah respon akibat beban gelombang yang harus dihitung (Det Norske Veritas, 2012)

- Motion in 6 degrees of freedom*
- Vertical wave bending moment*
- Horizontal bending moment*
- Accelerations*
- Axial forces*
- External sea pressure distribution*

Pilar penyangga *helideck* juga mengalami percepatan akibat gerakan Kapal Patroli. Sesuai dengan Hukum Newton yang kedua, struktur pada Kapal Patroli akan mengalami gaya akibat gerakan Kapal Patroli. Untuk gerakan translasi dan gerakan rotasi diperoleh dalam persamaan dibawah:

$$F = m \cdot a \quad (2.16)$$

Dimana:

$m$  = *Massa* (kg)

$a$  = Percepatan ( $m/s^2$ )

Sedangkan untuk gerakan rotasi yaitu, percepatan anguler dikonversi terlebih dahulu menjadi percepatan linear dengan menggunakan persamaan:

$$a = \theta \cdot r \quad (2.17)$$

Dimana:

$r$  = Radius girasi (m)

$\theta$  = Percepatan putar ( $rad/s^2$ )

### 2.1.10. Metode Elemen Hingga (MEH)

Metode elemen hingga atau *finite element method* (FEM) adalah metode numerik untuk membantu menyelesaikan masalah-masalah pada *engineering* dan *mathematical physic*. Permasalahan *engineering* dan *mathematical physic* yang diselesaikan menggunakan metode elemen hingga seperti halnya adalah analisis struktural, perpindahan panas, aliran fluida, transportasi massa, potensial elektromagnetik (Logan, 2007). Metode ini merupakan salah satu metode populer dalam penyelesaian masalah-masalah di bidang teknik dan konstruksi. Secara garis besar, metode elemen hingga diaplikasikan untuk analisis kekuatan suatu material perbagian secara merinci. Dengan ini, para peneliti dapat lebih mudah mengidentifikasi besar tegangan pada suatu struktur dengan lebih spesifik.

Karakteristik MEH yang membedakan dengan prosedur numerik yang lain adalah:

- a. MEH menggunakan penyelesaian integral untuk menghasilkan sistem persamaan aljabar.
- b. MEH menggunakan fungsi-fungsi kontinu sebagian untuk mendeteksi kuantitas atau beberapa kuantitas yang tidak diketahui

Analisis elemen hingga dapat dilakukan oleh *software* melalui tiga tahapan utama, yaitu *pre-processor*, *solver* dan *post-processor* (Hoque, 2016). Dimana tahap *pre-processor* meliputi penentuan material, permodelan, pengaturan geometri, pengaturan *meshing*, dan penentuan kondisi batas. Penentuan material dilakukan untuk mengatur karakteristik entitas yang akan dianalisis. Permodelan dilakukan untuk menentukan model representatif yang akan analisis. Model perlu dibuat semirip mungkin dengan aslinya agar luaran analisis yang dihasilkan semakin akurat. Pengaturan geometri meliputi pengecekan model, sambungan pada komponen-komponen model, jenis geometri (*surface* dan *solid*). *Meshing* pada hal ini adalah membagi atau mendiskritkan suatu model menjadi beberapa elemen hingga jumlah tertentu. Pengaturan *meshing* secara umum meliputi pengaturan ukuran, metode diskritasi bentuk elemen dan penentuan karakter elemen. Pengaturan elemen yang tepat dapat memberikan hasil pendekatan yang lebih akurat dan lebih baik. Kondisi batas secara garis besar adalah penentuan batasan-batasan yang akan dianalisis oleh *solver*. Penentuan kondisi batas meliputi letak dan jenis tumpuan, jenis, titik dan arah gaya luar yang bekerja.

Tahap selanjutnya adalah proses *solver*. Pada tahap ini berlangsung perhitungan penyelesaian melalui persamaan-persamaan elemen hingga. Proses ini bertujuan untuk mendefinisikan nilai-nilai pada tiap elemen atau *nodal* (Hoque, 2016). Hasil penyelesaian bergantung pada permasalahan dan kondisi batas yang ditentukan pada kondisi sebelumnya.

Tahap akhir adalah penyajian hasil analisis dalam bentuk citra atau visualisasi nilai-nilai yang didefinisikan di tahap sebelumnya oleh *solver*. Tahap ini disebut dengan *post-processor*.

#### 2.1.11. Kelelahan

Pengertian dari kelelahan (*fatigue*) adalah akumulasi kerusakan material yang disebabkan oleh beban siklis (Bai, 2003). Selama masa operasinya bagian-bagian struktur pada kapal harus menahan tegangan yang diterima. Pada struktur bangunan laut salah satunya adalah perubahan tegangan yang diakibatkan oleh gelombang, pusaran akibat getaan, dan beban lingkungan lainnya. Umur kelelahan dari detail suatu struktur berhubungan langsung dengan proses kelelahan yang dapat dikelompokkan sebagai berikut:

a. *Initial Crack*

Tahap ini ditandai pada kondisi cacat las tertentu, baik dalam base metal atau *filler* metal maupun di permukaan las. Cacat las ini dapat memicu perambatan retak.

b. *Crack Growth*

Tahap perambatan retak ini lebih mudah dipahami dan ada teori yang dapat dijadikan acuan untuk memodelkan perambatan retak (*crack growth*) yaitu *fracture mechanics* (mekanika kepecahan). Parameter utama perambatan retak ini adalah rentang tegangan pada detail struktur yang dianalisis. Bentuk geometri dari las-lasan serta ukuran dari initial crack berdampak besar pada umur kelelahan dari detail struktur. Pada struktur las-lasan, *fatigue cracks* selalu berawal dari cacat las dan periode perambatan retaknya dihitung untuk lebih dari 90% dari umur kelelahan.

c. *Final Fracture Failure*

Pada tahap akhir, kegagalan terjadi apabila ukuran retak telah mencapai ukuran kritisnya. Pada analisa kelelahan, fase kegagalan tersebut didefinisikan dalam hasil pengujian dalam bentuk S-N diagram. Berdasarkan jumlah siklus kegagalan yang dibutuhkan, kelelahan dibagi kedalam dua jenis sebagai berikut:

1. *High-cycle (low stress) fatigue*
2. *Low-cycle (high stress) fatigue*

Kegagalan kelelahan didefinisikan sebagai *low-cycle fatigue* apabila jumlah siklus yang menyebabkan kegagalan besarnya kurang dari 10<sup>4</sup> siklus. Pada *high cycle fatigue*, jumlah yang dibutuhkan untuk mencapai kegagalan dapat mencapai jutaan kali. Pada struktur bangunan laut, *high cycle fatigue* menjadi perhatian utama.

### 2.1.12. Konsep Perhitungan Kelelahan

Salah satu aspek utama yang harus diperhitungkan dalam desain struktur bangunan laut adalah analisis *fatigue* seperti pada kapal, *platform*, *floating structure*, pipa, *mooring line* dan *riser*. Hasil dari analisis *fatigue* dapat mempengaruhi biaya dan keselamatan dalam desain terutama pada aspek berikut ini (Bai, 2003):

- a. Kualitas sambungan material
- b. Kualitas fabrikasi dan pengelasan
- c. Frekuensi dari perbaikan dan inspeksi
- d. Konsekuensi dari potensi kegagalan *fatigue*
- e. Kekuatan residual dari kerusakan parsial sistem terukur

Secara umum terdapat dua metode pendekatan yang dipakai dalam analisis *fatigue* yaitu metode pendekatan *stress life* dan metode pendekatan *fracture mechanics*. Dalam tahap desain struktur, metode pendekatan *stress life* merupakan metode yang paling sering digunakan dengan menggunakan kurva S-N untuk menentukan umur kelelahan. Sedangkan metode *fracture mechanics* adalah metode dengan pendekatan kriteria ukuran cacat pada material beserta perambatan kelelahan retak, sehingga metode ini lebih cocok digunakan untuk perencanaan inspeksi dan strategi perbaikan.

Analisis *fatigue* dengan menggunakan pendekatan *stress life* (S-N Curve) dapat dilakukan dengan tiga langkah sebagai berikut (Jeom Kee Paik, 2007):

- a. Mendefinisikan histogram siklus rentang tegangan
- b. Memilih kurva S-N yang sesuai dengan karakteristik material
- c. Menghitung kumulatif kerusakan *fatigue* (*cummulative fatigue damage*)

Prosedur dalam analisis *fatigue* dengan menggunakan pendekatan *fracture mechanics* adalah sebagai berikut

- a. Memilih dan mendefinisikan model perambatan retak termasuk nilai *threshold*
- b. Menentukan rentang tegangan
- c. Menentukan  $\Delta K$  untuk rentang tegangan yang dipilih
- d. Mengestimasi perambatan retak untuk satu siklus dengan menggunakan nilai  $\Delta K$
- e. Menentukan *stress intensity factor*
- f. Memeriksa ukuran retak yang diijinkan

### 2.1.13. Siklus Rentang Tegangan

Struktur bangunan laut dipengaruhi oleh beban lingkungan yang berulang dengan nilai yang bervariasi. Pembebanan berulang (siklis) tersebut dapat terjadi hingga berjuta kejadian

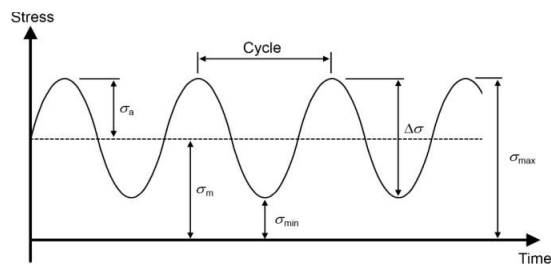
sehingga struktur konstruksi mengalami kegagalan lelah (*fatigue failure*). Terdapat berbagai macam beban siklis yaitu (Widodo, 2010):

- Beban siklis frekuensi rendah (*quasi-static*) yang ditimbulkan oleh eksitasi gelombang dengan jumlah sekitar 107 sampai dengan 108 kali selama umur operasi struktur (25 tahun)
- Beban siklis frekuensi tinggi (dinamis), yang dapat diklasifikasikan menjadi beban transien (*slamming, wave slapping, hull whipping*) dan *steady* (mesin, baling - baling, *hull springing*) dengan jumlah sekitar 106 kali selama umur operasi (25 tahun)
- Beban siklis frekuensi sangat rendah (status) akibat perubahan beban (logistik) di atas struktur dan hidrostatik (pasut) dengan jumlah sekitar 4000-8000 kali selama umur operasi struktur (25 tahun)
- Beban siklis karena gradien panas tak beraturan akibat cuaca dan temperatur muatan dengan jumlah sekitar 7000 kali selama umur operasi struktur (25 tahun)

Beban siklis lingkungan bersifat tidak pasti (*irregular*) dan tidak bisa diprediksi (Joonmo Choung, 2008). Selain itu beban lingkungan mempunyai karakteristik yang sangat spesifik pada setiap wilayah perairan yang dipengaruhi oleh kondisi cuaca lokal seperti gelombang dan angin.

Dalam analisis kerusakan *fatigue* pada struktur konstruksi yang menjadi perhatian utama adalah rentang tegangan siklis (tegangan maksimum dan minimum) yang diakibatkan oleh beban siklis. Dimana tegangan maksimum dan minimum adalah  $\sigma_{\max}$  dan  $\sigma_{\min}$ , dengan rata – rata  $\sigma_{\text{mean}} = (\sigma_{\max} + \sigma_{\min})/2$  dan rasio  $R = \sigma_{\min} / \sigma_{\max}$ . Sedangkan rentang tegangan ditunjukkan pada Gambar 2. 5 didefinisikan sebagai:

$$\Delta\sigma = \sigma_{\max} - \sigma_{\min} \quad (2.18)$$



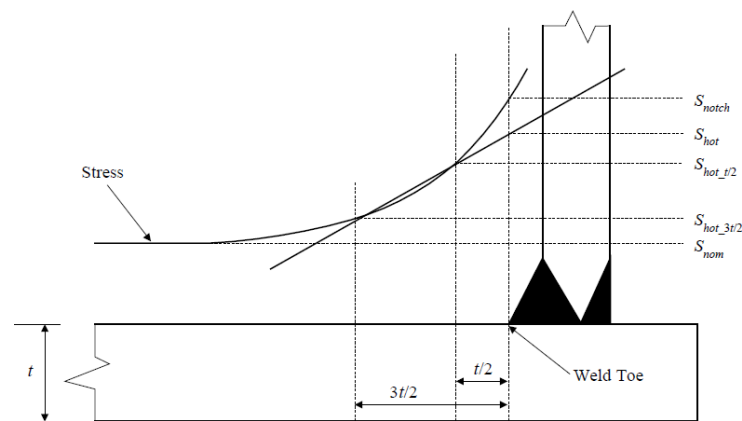
Gambar 2. 5 Siklus Rentang Tegangan  
(Sumber : Syahroni, 2015)

Analisis rentang tegangan menggunakan metode elemen hingga dilakukan dengan mendefinisikan interaksi pembebanan siklis gelombang dengan struktur terhadap arah gelombang dan frekuensi. Variasi beban gelombang siklis dapat diperoleh dari *wave scatter diagram* untuk setiap *sea state*. Rentang tegangan yang digunakan untuk analisis *fatigue* dengan



pendekatan *S-N Curve* dapat dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu rentang tegangan nominal, *hot-spot* dan takik (*notch*). Ketiga jenis tersebut menggambarkan ketelitian dalam mendefinisikan geometri struktur sambungan.

Tegangan nominal  $S_i(\text{nominal})$  didefinisikan sebagai tegangan yang diperoleh dari analisis global elemen hingga (*coarse FE model*) dengan mengabaikan faktor konsentrasi tegangan karena geometri sambungan (Blakogevic, B. & Domazet, Z, 2010). Sedangkan tegangan *hotspot*  $S_i(\text{hotspot})$  didefinisikan sebagai tegangan lokal pada daerah kritis (*hotspot*) dimana keretakan dapat terjadi. Pada analisis tegangan *hotspot*, kualitas pengelasan dan kemungkinan cacat las dapat diabaikan. Tegangan takik (*notch*), yaitu pada kaki las atau di daerah tepi dari suatu potongan sambungan struktur. Pada Gambar 2. 6 menjelaskan grafik setiap tipe dari rentang tegangan.



Gambar 2. 6 Jenis Rentang Tegangan  
(Sumber : ABS, 2003)

Rentang tegangan yang dihasilkan dari analisis metode elemen hingga adalah rentang tegangan nominal ( $S_{nominal}$ ) yang tertinggi, dimana kegagalan *fatigue* akan terjadi. Untuk analisis *fatigue* maka rentang tegangan nominal perlu dikalikan dengan faktor konsentrasi tegangan (*stress concentration factor*) sehingga estimasi rentang tegangan *hot spot* dapat diketahui.

$$S_i(\text{hotspot}) = S_i(\text{nominal}) \times SCF \quad (2.19)$$

Dimana:

$S_i(\text{hotspot})$  : rentang tegangan hotspot ( $\text{N/mm}^2$ )

$S_i(\text{nominal})$  : rentang tegangan nominal ( $\text{N/mm}^2$ )

SCF : faktor konsentrasi tegangan yang terjadi pada detail sambungan struktur akibat adanya diskontinuitas geometri seperti lubang atau retakan

#### 2.1.14. Metode S-N Curve

a. Perhitungan Akumulasi Kerusakan (*Cumulative Damage*)

Penaksiran ini menggunakan hukum *Palmgren-Miner*, yang dinyatakan sebagai berikut:

$$D_{fat} = \int_0^{\infty} \frac{N_0 f(S)}{N(S)} \quad (2.20)$$

Dengan substitusi nilai  $N = K_2 \cdot S^{-m}$  kedalam persamaan diatas, maka akan didapatkan persamaan selanjutnya yaitu:

$$D_{fat} = \frac{N_0}{K_2} \int_0^{\infty} S^m f(S) ds \quad (2.21)$$

Untuk struktur kapal, fungsi probabilitas dari rentang tegangan dapat digambarkan dengan dua parameter distribusi *Weibull* sebagai berikut:

$$f(S) = \frac{\xi}{A} \left(\frac{S}{A}\right)^{\xi-1} \exp\left(-\frac{S}{A}\right)^{\xi} ds \quad (2.22)$$

Dimana A dan  $\xi$  adalah parameter skala dan parameter bentuk. Dengan mensubstitusikan nilai  $f(S)$ , maka akan didapat persamaan selanjutnya:

$$D_{fat} = \frac{N_0}{K_2} \int_0^{\infty} S^m \frac{\xi}{A} \left(\frac{S}{A}\right)^{\xi-1} \exp\left(-\frac{S}{A}\right)^{\xi} ds \quad (2.23)$$

Dimana:

$$x = \left(\frac{S}{A}\right)^{\xi} \quad (2.24)$$

Maka akan didapat persamaan sebagai berikut:

$$D_{fat} = \frac{N_0}{K_2} A^m \int_0^{\infty} x^{1+m/\xi} \exp(-x) dx \quad (2.25)$$

*Gamma Function* dinyatakan sebagai berikut:

$$\Gamma(k) = \int_0^{\infty} e^{-x} x^{k-1} dx \quad (2.26)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan  $\Gamma(k)$  ke persamaan  $D_{fat}$ , maka akan didapat persamaan berikutnya:

$$D_{fat} = \frac{N_0}{K_2} A^m \Gamma\left(1 + \frac{m}{\xi}\right) \quad (2.27)$$

Dimana A adalah

$$A = \left[\frac{S_0^{\xi}}{\ln N_0}\right]^{1/\xi} \quad (2.28)$$

Sehingga akan diperoleh persamaan akumulasi kerusakan (*cumulative damage*) jangka panjang adalah sebagai berikut:

$$D_{fat} = \frac{N_0}{K_2} \left[\frac{S_0^{\xi}}{\ln N_0}\right]^{m/\xi} \Gamma\left(1 + \frac{m}{\xi}\right) \quad (2.29)$$

Dimana:

$N_0$  = Total jumlah siklus dalam periode jangka panjang selama masa hidup

$S_0$  = Rentang tegangan maksimum dalam setiap  $N_0$  cycles

$\xi$  = Parameter bentuk dari distribusi *Weibull* untuk siklus tegangan berulang

$K_2$  = Parameter material dari *S-N Curve*

$m$  = Parameter material dari *S-N Curve*

$\Gamma$  = Fungsi gamma

b. *S-N Curve*

Kekuatan dicirikan dengan kurva *S-N* yang memberikan hubungan antara rentang tegangan yang terjadi pada suatu detail struktur dan jumlah siklus beban amplitudo konstan untuk kegagalan. Untuk detail struktur kapal, kurva *S-N* digambarkan dengan rumus berikut:

$$S^m \cdot N = K_2 \quad (2.30)$$

Dimana:

$S$  = Rentang tegangan

$N$  = Perkiraan jumlah siklus untuk kegagalan dibawah rentang tegangan  $S$

$m$  = Konstanta yang bergantung pada jenis material dan las-lasan, jenis pembebanan, konfigurasi geometri dan kondisi lingkungan (udara atau air laut)

$K_2$  = Konstanta yang bergantung pada jenis material dan las-lasan, jenis pembebanan, konfigurasi geometri dan kondisi lingkungan (udara atau air laut)

c. Perhitungan Distribusi Tegangan *Weibull*

Menurut (Blakogevic, B. & Domazet, Z, 2010) nilai dari distribusi tegangan *Weibull* memberikan hasil yang signifikan terhadap perhitungan *cumulative fatigue damage*. Nilai  $\xi$  bervariasi tergantung prosedur yang dipakai yaitu 0.7 sampai 1.3.

$$\xi = 1.1 - 0.35 \frac{L-100}{300} \quad (2.31)$$

Dimana  $L$  adalah panjang struktur dalam meter.

d. Perhitungan Umur Kelelahan

Rasio *cumulative fatigue damage* ( $D_{fat}$ ) dapat diubah ke dalam perhitungan umur kelelahan menggunakan persamaan dibawah ini (IACS, 2010). Dalam pola ini, umur kelelahan yang didapat harus mendekati atau lebih besar dari *design life* kapal. Berikut persamaannya:

$$fatigue\ life = \frac{Design\ Life}{D_{fat}} \quad (2.32)$$

Dimana hasil perhitungan dinyatakan dalam tahun.

### 2.1.15. Mekanisme Kepecahan

Terdapat 3 fase proses yang memperlihatkan terjadinya kepecahan yaitu pertumbuhan retak tanpa pembebanan, pertumbuhan retak stabil, dan pertumbuhan retak tidak stabil (A. Salvadori, 2011)

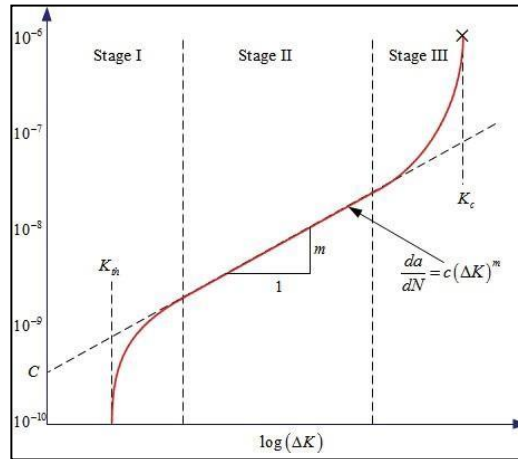
#### a. Retak awal (*crack initiation*)

Cacat (*defect*) pada struktur dapat bertindak sebagai awal keretakan. Cacat pada struktur berdasarkan asal terbentuknya dapat dikategorikan menjadi dua kelompok:

1. Cacat yang terbentuk selama masa fabrikasi, disebabkan oleh:
  - Cacat lateral yang terjadi pada material (*material defect*).
  - Proses pengerjaan material (*manufacturing defect*).
  - Pemilihan material yang salah atau proses perlakuan panas material.
  - Teknik produksi dari material yang salah (*poor choice of production technique*).
  - Desain material yang salah (*poor detail design*).
2. Cacat yang terbentuk selama service struktur, diantaranya disebabkan oleh:
  - Kelelahan struktur, terjadi saat struktur mencapai umur kelelahannya.
  - Fluktuasi tegangan pada permukaan yang telah mengalami korosi

#### b. Perambatan retak (*crack propagation*)

Pertumbuhan retak lelah ditentukan oleh 2 (dua) parameter mekanika kepecahan, yaitu  $\Delta K$  dan  $K_{max}$  (Stoychev, 2007). Perambatan retak adalah tahap selanjutnya setelah tahap retak awal (*crack initiation*). Dalam tahap ini retak tumbuh dan menjalar hingga mencapai batas kritis (*critical size*). Dari data perambatan retak suatu prediksi umur lelah (*fatigue life*) dapat dikembangkan. Perambatan retak terjadi dalam waktu yang lama dalam kondisi operasi normal. Perambatan retak akibat medan tegangan dan regangan di sekitar ujung retak, ditunjukkan dengan parameter *stress intensity factor* ( $K$ ), yang merupakan fungsi dari tegangan, geometri dan dimensi retak. Dari konsep *fracture mechanics*, laju perambatan retak dinyatakan dengan  $da/dN$  yang merupakan fungsi dari sifat material, panjang retak, dan tegangan operasi. Perambatan retak terdiri dari tiga tahapan, seperti Gambar 2. 7 berikut:



Gambar 2. 7 Tahapan Perambatan Retak  
(Sumber: Elhewy, 2016)

### 1. Region I

Perambatan retak pada region ini menunjukkan karakteristik “*fatigue threshold*” yang merupakan fluktuasi kenaikan stress intensity factor dengan parameter  $\Delta K_{th}$ . Nilai  $\Delta K$  harus lebih besar dari nilai  $\Delta K_{th}$  untuk memungkinkan terjadinya perambatan retak.

Nilai  $da/dN$  antara region I dan region II adalah:

$$\frac{da}{dN} = c (\Delta K^m - \Delta K + h^m) \quad (2.33)$$

### 2. Region II

Perambatan-perambatan retak mulai terjadi. Kecepatan perambatan retak dapat dihitung menggunakan hukum *Paris-Erdogan*:

$$\frac{da}{dN} = C(\Delta K)^m \quad (2.34)$$

### 3. Region III

Perambatan retak yang terjadi lebih cepat daripada region II, merupakan awal terjadinya kepecahan. Nilai  $da/dN$  antara region I, II, dan III.

$$\frac{da}{dN} = \frac{\Delta K^2}{4\pi\sigma_y - \Delta K} \left( \frac{(\Delta K - \Delta K_{th})(1-R)}{(1-R)K_c - \Delta K} \right)^{1/2} \quad (2.35)$$

Dimana:

$da/dN$  = kecepatan perambatan retak, m/cycle

$\Delta K$  = range faktor intensitas tegangan,  $\text{Mpa}\sqrt{m}$

$K$  = faktor intensitas tegangan,  $\text{Mpa}\sqrt{m}$

$K_c$  = harga kritis  $K$ ,  $\text{Mpa}\sqrt{m}$

$R$  = rasio tegangan =  $\sigma_{\min}/\sigma_{\max}$

$C$  dan  $m$  = parameter perambatan retak

### 2.1.16. Metode *Fracture Mechanics*

*Fracture mechanics* adalah suatu analisis penyelesaian dengan cara mendefinisikan kondisi lokal dari tegangan dan regangan di sekitar retakan yang dikorelasikan dengan parameter–parameter globalnya (beban–beban, geometri dan sebagainya) dimana retakan akan merambat (Almarnaess, 1985). Berbagai pendekatan telah digunakan untuk menganalisis masalah *fracture*, yang kemudian mengarah ke berbagai parameter *fracture mechanics* yang semuanya saling berkaitan. Parameter–parameter tersebut diantaranya adalah  $G$  (Rasio pelepasan energi),  $J$  (*Rice's Integral*), COD (*Crack Opening Displacement*),  $K$  (*Stress intensity factor*). Dimana semua parameter, yang terkenal adalah *stress intensity factor* (SIF). Prinsip fundamental dari *fracture mechanics* adalah medan tegangan di depan ujung retakan yang dapat dikarakteristikan dengan parameter tunggal  $K$  (A. Salvadori, 2011).

*Fracture mechanics* terbagi menjadi dua kategori, yakni *linear-elastic* (LEFM) dan *elastic-plastic* (EPFM).

#### a. *Linier Elastic Fracture Mechanics*

LEFM adalah metode yang menunjukkan hubungan antara medan tegangan dan distribusinya di sekitar ujung retak dengan ukuran, bentuk, orientasi retak dan material properti akibat tegangan nominal yang dikenakan pada struktur. Metode ini menggunakan parameter  $K$ , atau SIF untuk menunjukkan karakteristik dari medan tegangan yang terjadi.

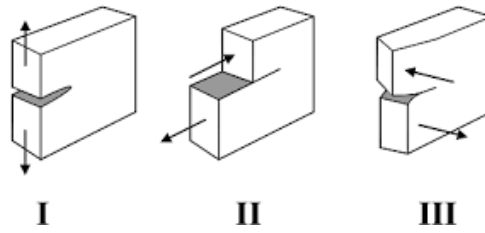
#### b. *Elastic Plastic Fracture Mechanic*

EPFM kurang tepat digunakan pada struktur–struktur besar yang menggunakan baja berkekuatan rendah atau sedang karena adanya zona plastis yang cukup besar di sekitar ujung retak, sehingga menyebabkan timbulnya perilaku elastis-plastis. Metode ini merupakan pengembangan dari LEFM, dengan penambahan analisis yang dapat menunjukkan deformasi plastis dari material.

Mode deformasi retak dapat digolongkan dalam tiga mode deformasi:

- a. Moda I (*opening mode*) adalah retak yang diakibatkan oleh adanya tegangan tarik yang tegak lurus terhadap arah/bidang penjaran retak. Jadi displasemen permukaan tegak lurus bidang retak.
- b. Moda II (*sliding mode*) adalah retak yang diakibatkan oleh tegangan geser yang searah dengan penjaran retak. Displasemen permukaan retak adalah dalam bidang retak dan tegak lurus leading edge dari retak.
- c. Moda III (*tearing mode*) adalah retak yang diakibatkan karena tegangan geser yang bekerja pada arah melintang dan membentuk sudut dengan arah penjaran retak.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2. 8 berikut:



Gambar 2. 8 Tiga Mode Deformasi Retak  
(Sumber: Barson & Rofle, 1987)

Tegangan dan displasemen pada setiap titik dekat dengan retakan dapat diturunkan berdasar teori elastisitas dan fungsi kompleks tegangan. Tegangan elastis dekat titik retakan ( $r/a \ll 1$ ) untuk moda I adalah (Almarnaess, 1985):

$$\sigma_y = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi R}} \cos \frac{\theta}{2} \left[ 1 + \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right] \quad (2.36)$$

$$\sigma_x = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi R}} \cos \frac{\theta}{2} \left[ 1 - \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right] \quad (2.37)$$

$$\tau_{xy} = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi R}} \sin \frac{\theta}{2} \left[ 1 - \cos \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right] \quad (2.38)$$

#### 2.1.17. Stress Intensity Factor

Faktor intensitas tegangan (*Stress Intensity Factor*) merupakan fungsi dari panjang dan arah retak, geometri, dan distribusi beban yang diberikan. SIF merupakan parameter yang mengandung pengertian prinsip keseimbangan energi dan distribusi di ujung retak. *Range* dari SIF diberikan oleh Bai dengan persamaan :

$$\Delta K = F\sigma\sqrt{\pi a} \quad (2.39)$$

Besarnya SIF dipengaruhi oleh panjang retak  $a$ , tegangan yang diberikan ( $\sigma$ ), serta faktor korelasi tanpa dimensi  $F$  yang dipengaruhi oleh bentuk pembebanan yakni dari beban tarik dan tekan, posisi retak yang berada di tengah atau di tepi, geometri retak dan perbandingan panjang retak terhadap lebar material.

Tabel 2. 1 SIF untuk Beberapa Geometri

Type of Crack	Stress Intensity Factor, $K_I$
Center crack length $2a$ , in an infiite plate	$\sigma\sqrt{\pi a}$
Edge crack, length $a$ , in a semi-infinite plate	$1,12\sigma\sqrt{\pi a}$

Central penny-shaped cracks, radius $a$ , in an infinite body	$2\sigma^\infty \sqrt{\frac{a}{\pi}}$
Center crack, length $2a$ in plate of width $W$	$\sigma^\infty \sqrt{W \tan\left(\frac{\pi a}{W}\right)}$
2 symmetrical edge cracks, each length $a$ , in plate of total width $W$	$\sigma^\infty \sqrt{W \tan\left(\frac{\pi a}{W}\right) + 0,1 \sin\left(\frac{2\pi a}{W}\right)}$

Perbedaan antara *Stress Concentration Factor* (SCF) dan SIF dapat dijelaskan dengan pengertian bahwa SCF merupakan faktor skala untuk tegangan nominal yang merupakan perbandingan antara tegangan global maksimum terhadap tegangan nominal. SIF bertindak sebagai faktor skala bagi medan tegangan pada ujung retak. Bila SCF adalah parameter yang menggambarkan konsentrasi tegangan, maka SIF mengkarakteristikan keadaan pada ujung retak (singularitas tegangan) serta kondisi yang tidak dapat ditangani oleh SCF.

Pada penelitian ini bentuk geometri retak yaitu *through crack* dengan persamaan nilai *Stress Intensity Factor* berikut:

$$K_I = \sigma \sqrt{\pi a} \left[ \sec\left(\frac{\pi a}{2W}\right)^2 \right] \left[ 1 - 0,025\left(\frac{a}{W}\right)^2 + 0,06\left(\frac{a}{W}\right)^4 \right] \quad (2.40)$$

### 2.1.18. Kedalaman Retak Kritis

Kedalaman retak kritis terjadi jika *stress intensity factor* yang dihasilkan telah mencapai *fracture toughness* dari material. Kedalaman retak kritis dihitung dengan menggunakan rumus:

$$a_{cr} = \left( \frac{K_{IC}}{\sigma_{max}} \right)^2 \frac{1}{\pi} \quad (2.41)$$

Dimana:

$a_{cr}$  = kedalaman retak kritis, m

$K_{IC}$  = material *fracture toughness*,  $\text{Mpa}\sqrt{\text{m}}$

$\sigma_{max}$  = tegangan normal maksimum, MPa

### 2.1.19. Crack Propagation

Hasil perhitungan perambatan retak umumnya sebagai umur kelelahan dari struktur yang ditinjau. Dengan memberikan masukan berupa besar retak awal dan retak akhir akan diketahui jumlah batas siklus yang masih aman dengan mengintegrasikan persamaan laju keretakan berikut (Almarnaess, 1985)



$$N = \int_{a_0}^{a_f} \frac{da}{da/dN} \quad (2.42)$$

dengan mensubstitusi Persamaan 2.34 didapatkan persamaan baru yaitu:

$$N = \int_{a_0}^{a_f} \frac{da}{C(\Delta K)^m} \quad (2.43)$$

Dimana:

da = pertambahan panjang retak, m

dN = *pertambahan jumlah cycle dari beban, cycle*

a<sub>f</sub> = *failure crack*, panjang retak setelah pembebanan hingga gagal, m

a<sub>0</sub> = *initial crack*, panjang retak pada waktu permulaan, m

## 2.2. Tinjauan Pustaka

Dalam proses untuk analisa umur kelelahan pilar penyangga *helideck*, maka dibutuhkan data-data pendukung dan kajian-kajina sebelumnya yang dapat dijadikan referensi yang terkait dengan tujuan Tugas Akhir ini sebagai tinjauan pustaka.

### 2.2.1. Kapal Patroli

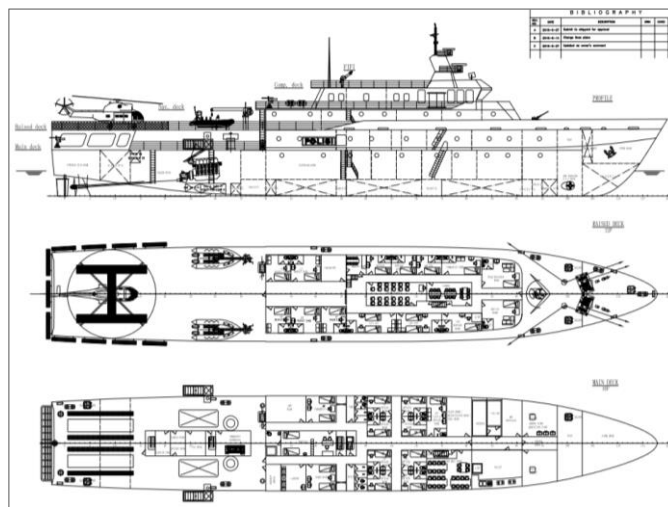
Kapal Patroli kelas A2 memiliki ukuran utama sebagai berikut:

Loa	= 73	m
Lpp	= 68	m
T (desain)	= 3	m
D	= 5.5	m
B	= 11.35	m
Vmaks	= 18	kn
Crew	= 68	orang

Kapal Patroli kelas A2 memiliki fasilitas *Heliport* yang didedikasikan untuk helikopter jenis UH-60L (*Sikorsy*) dengan beban *take-off* maksimum seberat 10.7 ton. Material utama Kapal Patroli yaitu baja jenis AH-36 untuk lambung dan geladak menerus, dan aluminium untuk bangunan atasnya. Kapal Patroli diregistrasikan di Biro Klasifikasi Indonesia (BKI). Kapal tersebut dilengkapi dengan senjata meriam tembak pada bagian haluan, fasilitas pendaratan helikopter dan area apel pada bagian haluan yang cukup untuk menampung sedikitnya 68 personel kepolisian. Rencana umum Kapal Patroli dapat dilihat pada Gambar 2. 9 dan Gambar 2. 10.



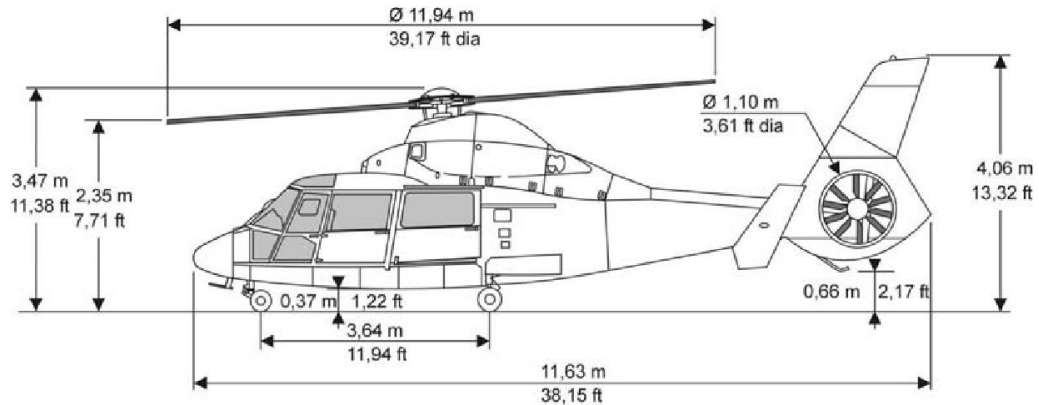
Gambar 2. 9 Kapal Patroli



Gambar 2. 10 Rencana Umum Kapal Patroli  
(sumber: PT. xxx)

### 2.2.2. Helikopter Dauphin AS365 – Kepolisian Republik Indonesia

Dauphin AS365 N3 merupakan salah satu jenis helikopter yang dimiliki oleh Kepolisian Indonesia. Dauphin AS365 N3 dibuat oleh Airbus, salah satu produsen helikopter asal Prancis dengan misi utama sebagai helikopter *Search and Rescue* (SAR). Secara teknis Dauphin tergolong helikopter angkut sedang multirole yang punya angkut maksimum 4.300 kg. Untuk menunjang berbagai misi, Dauphin dapat membawa maksimum beban tambahan internal hingga 1.345 kg. Namun bila harus membawa muatan, bisa dilakukan dengan sling (sejenis tali pengikat) hingga bobot 1.600 kg. Kecepatan maksimum Dauphin 269 km per jam. Sementara jarak jangkauan maksimum Dauphin hingga radius 792 km. Dalam menjalankan misi SAR di lautan, helikopter dapat mengudara sampai 4 jam. Secara global, helikopter Dauphin AS365 N3 saat ini digunakan oleh lebih dari 60 negara dengan 200 lebih jumlah operator. Helikopter Dauphin AS365 N3 dapat dilihat pada Gambar 2. 11.



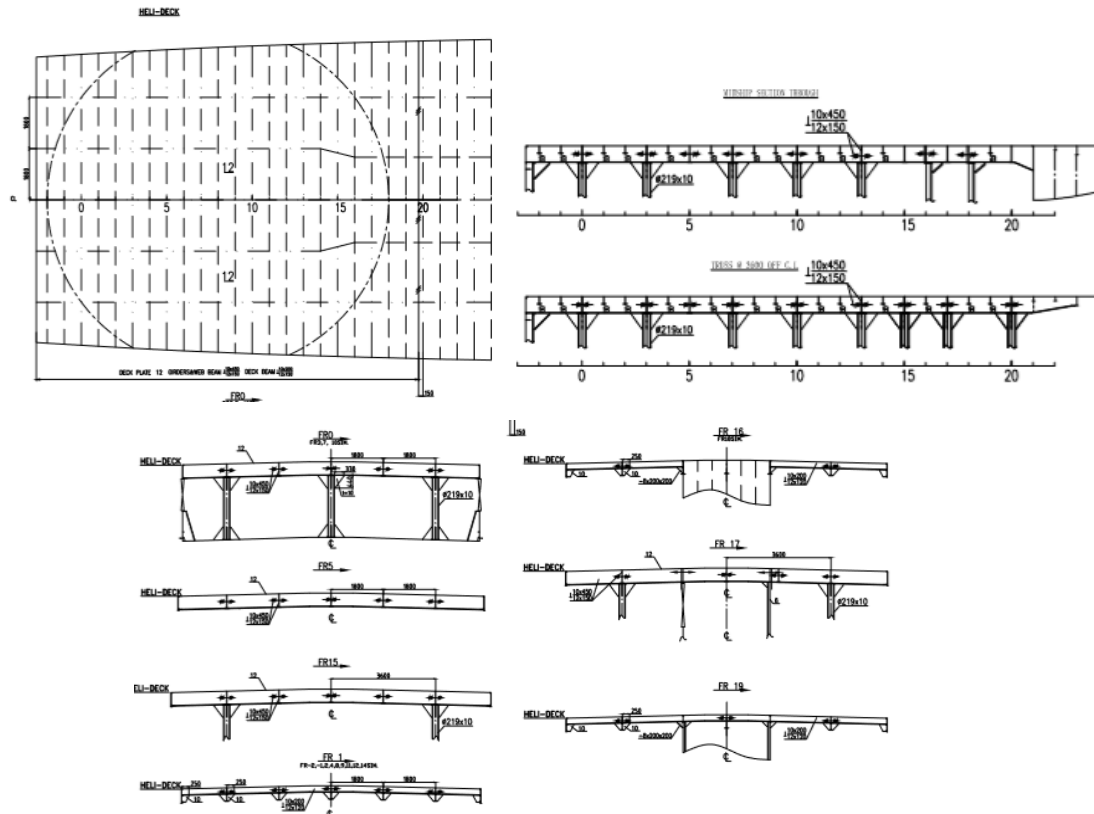
Gambar 2. 11 Dauphin AS365  
(sumber: Airbus)

### 2.2.3. Konstruksi *Shipboard Heliport*

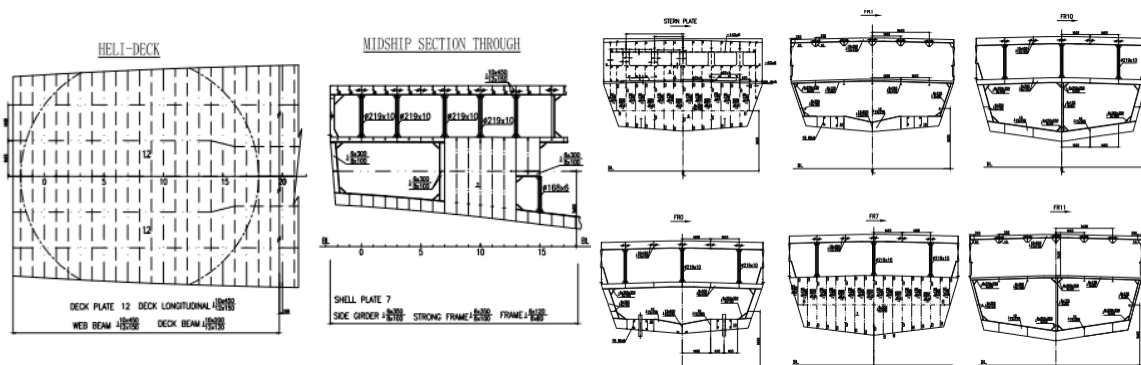
Berdasarkan peraturan yang diterbitkan oleh Biro Klasifikasi Indonesia, *heliport* kategorikan sebagai konstruksi geladak pada sebuah kapal. Perhitungan konstruksi geladak menurut BKI harus mengacu pada hal berikut (BKI, 2018):

- Zona lepas landas/pendaratan didasarkan pada tipe helikopter terbesar yang diharapkan akan memakai geladak helikopter.
- Untuk perhitungan ukuran konstruksi, beban lain (muatan, salju/es, dll) harus diperhitungkan secara bersamaan atau secara terpisah, tergantung pada kondisi operasi yang diharapkan.
- Ketentuan berikut pada dasarnya berlaku untuk zona lepas landas/zona pendaratan pada geladak pendaratan khusus yang ditumpu pilar atau pada geladak bangunan atas dan rumah geladak.

Dari tiga poin di atas dapat disimpulkan bahwa sebuah geladak helikopter harus dihitung berdasarkan berat helikopter terbesar yang direncanakan, pembebanan dihitung dalam berbagai kondisi yang direncanakan dan mungkin terjadi serta daerah pendaratan khusus harus ditumpu oleh pilar atau pada geladak bangunan atas dan rumah geladak. Dibawah ini merupakan gambar konstruksi *helideck* Kapal Patroli sebagai bahan acuan pengerjaan tugas akhir. Gambar 2. 12 merupakan desain konstruksi *helideck* beserta konstruksi melintang dan memanjang tiap *frame* nya. Gambar 2. 13 merupakan desain konstruksi buritan Kapal Patroli disekitar *helideck* yang ditinjau.



Gambar 2. 12 Kontruksi *Helideck* Beserta Kontruksi Melintang dan Memanjang



Gambar 2. 13 After Construction Kapal Patroli

#### 2.2.4. Optimasi Konstruksi Pilar Penyangga Helideck KP YUDISTIRA 73 Meter

Albert Caesario telah melakukan analisa optimasi konstruksi pilar penyangga *helideck* pada KP YUDISTIRA 73 meter (Caesario, 2019). Analisa dilakukan terhadap pilar penyangga *helideck* yang didefinisikan *overdesign* dan konfigurasi pilar pada buritan yang dianggap terlalu banyak. Analisa diawali dengan pengujian kondisi tegangan struktur dengan konfigurasi pilar *existing*, pengurangan jumlah pilar satu-persatu dengan sejumlah skenario konfigurasi pilar, pengujian setiap skenario, penentuan skenario dan pengujian ulang dengan berbagai variasi pembebanan. Hasil pengujian menunjukkan tegangan maksimum yang terjadi dengan konstruksi *existing* adalah sebesar 42,83 MPa untuk tegangan *Von Mises* dan tegangan

kompresi maksimum pilar sebesar 9,38 MPa. Struktur *existing* terdapat 20 pilar penyangga. Setelah dilakukan optimasi didapatkan jumlah pilar penyangga sebanyak 6 buah pilar dengan dimensi yang sama. Tegangan *Von Misses* yang terjadi sebesar 95,83 MPa dan tegangan kompresi pilar maksimum sebesar 22,58 MPa dengan batasan tegangan izin maksimum sebesar 175 MPa untuk tegangan *Von Misses* dan 165 MPa untuk tegangan kompresi.

#### 2.2.5. Analisis Umur Kelelahan Sambungan *Bracket Topside Module FPSO* Menggunakan *Fracture Mechanics*

Tyo Dwiki melakukan analisis umur kelelahan pada sambungan bracket pada *topside module* dari FPSO (Dwiki, 2019). Analisis dilakukan dengan pendekatan *Linear Elastic Fracture Mechanics* dengan metode *stress intensity factor*. Analisis dilakukan secara global untuk memperoleh percepatan dari 6 *degree of freedom* dan juga tegangan nominal untuk mencari lokasi kritis yang terjadi pada sambungan.

Hasil penelitian menunjukkan besar tegangan nominal pada lokasi kritis sebesar 29,49 MPa. Pemberian retak awal dilakukan mengikuti acuan DNV dengan kedalaman retak sebesar 0,5 mm. Nilai SIF yang dihasilkan ketika *initial crack* adalah sebesar 1,469 MPa $\sqrt{m}$ . Sedangkan untuk *final crack*, terjadi nilai SIF sebesar 20,174 MPa $\sqrt{m}$ . Perambatan retak yang terjadi pada setiap pertambahan retak yang dilakukan pada analisis ini menunjukkan bahwa semakin besar retak awal semakin cepat juga laju perambatan retak. Dengan retak awal 0,5 mm hingga retak akhir sebesar 145,84 mm membutuhkan waktu sebanyak 101,028 Tahun dengan nilai *safety factor* sebesar 5,05.

#### 2.2.6. Baja AH-36

Shengrun Shi melakukan evaluasi *integrity* dari *High Strength Low Alloy Steels* yang dipertimbangkan untuk pembangunan kapal dengan *acoustic emission* (Shi, 2014). Dalam industri maritim modern, penggunaan baja dalam pembuatan dan pembangunan kapal dengan struktur kinerja yang bagus dan ketahanan yang lebih baik kerusakan kelelahan merupakan hal yang umum. Baja HSLA adalah jenis paduan baja dengan rasio kekuatan terhadap berat yang lebih baik dibandingkan dengan seri HY konvensional baja. Baja HSLA biasanya diproses menggunakan kontrol termomekanis dan *Direct Quenching* (DQ). Perbandingan hasil uji *Fracture Toughness Properties* HSLA yang dilakukan oleh AIMEN dengan tujuan untuk melihat ketangguhan baja ditunjukkan pada Tabel 2. 2 dan Tabel 2. 3.

Tabel 2. 2 Ringkasan Hasil Uji *Fracture Toughness Properties* HSLA Steel Grades

Steel Code)	Fmax (N)	Fq (N)	Kq (MPa m <sup>1/2</sup> )	Jm (kJ/m <sup>2</sup> )
AH36	6139 ( $\pm$ 665.2)	3687 ( $\pm$ 327.1)	33,0 ( $\pm$ 1.2)	243,1 ( $\pm$ 27.6)
DH36	7876 ( $\pm$ 703.3)	4415 ( $\pm$ 518.9)	36,0 ( $\pm$ 2.3)	428,8 ( $\pm$ 26.2)

X65 – 1	10151	6306	56,0	911,9
X65 – 2	8160	6394	56,8	737,9
X65 – 3	6230	3900	34,6	349,5
S690 – 1	10800	8380	74,4	302,6
FCA	8200	5750	51,1	576,3

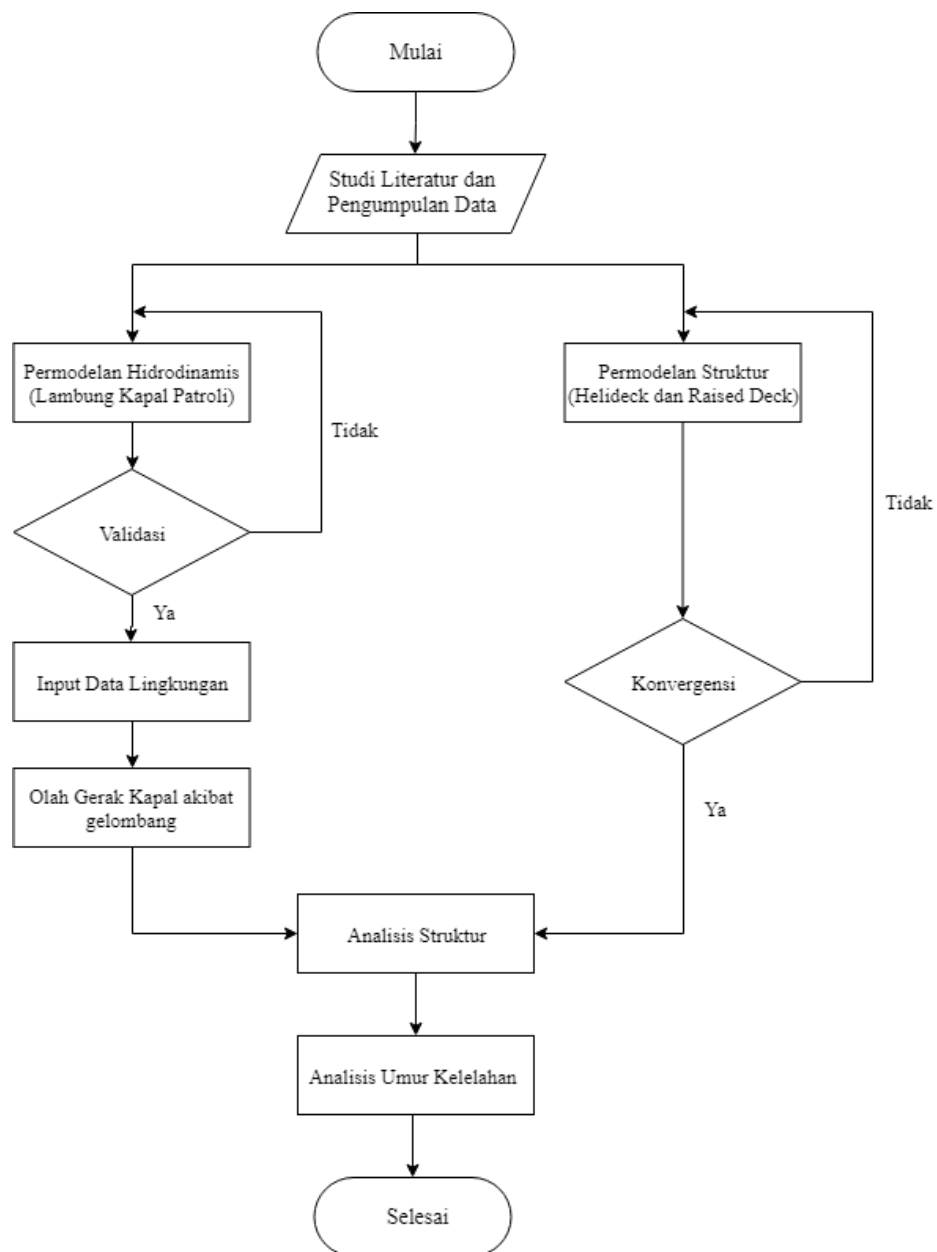
Tabel 2. 3 Ringkasan Hasil Uji Fatigue Crack Growth

Steel Code)	c	m	$\Delta K_{\text{Threshold}} (m^{1/2})$
AH36	$2 \times 10^{-12}$	3,46	12,5
DH36	$3 \times 10^{-13}$	4,05	13,5
X65 – 1	$2 \times 10^{-10}$	2,13	23
X65 – 2	$2 \times 10^{-9}$	1,41	23
X65 – 3	$5 \times 10^{-11}$	2,53	23
S690 – 1	$6 \times 10^{-11}$	2,24	28
FCA	$2 \times 10^{-11}$	2,65	24

## BAB 3 METODOLOGI

### 3.1. Bagan Alir

Pada penyusunan Tugas Akhir ini, metodologi yang digunakan disajikan dalam diagram alir seperti Gambar 3. 1 berikut:



Gambar 3. 1 Bagan Alir Pengerjaan Tugas Akhir

### 3.2. Studi Literatur

Studi Literatur yang akan digunakan bersumber dari jurnal lokal maupun jurnal internasional, dapat juga bersumber dari Tugas Akhir yang pernah dikaji sebelumnya serta buku-buku yang berkaitan dengan pengerjaan Tugas Akhir ini khususnya perhitungan umur kelelahan. Studi literatur ini diperlukan dengan untuk mendapatkan pemahaman mengenai pilar penyanggah, *helideck*, *acceleration motion* dan perhitungan *fatigue life*. Kemudian studi literatur tersebut digunakan sebagai acuan atau referensi dalam tugas akhir ini.

### 3.3. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk mengambil data yang diperlukan dalam mengerjakan Tugas Akhir. Data yang dibutuhkan berkaitan dengan permasalahan dalam penelitian berupa ukuran utama Kapal Patroli Lepas Pantai, data-data struktur Kapal Patroli, dan data lingkungan tempat Kapal Patroli beroperasi.

#### 3.3.1. Ukuran Utama

Kapal yang dianalisis pada penelitian Tugas Akhir ini adalah Kapal Patroli kelas A2. Data kapal didapat dari salah satu galangan kapal swasta dalam negeri. Ukuran Utama dari Kapal Patroli ditunjukkan pada Tabel 3. 1.

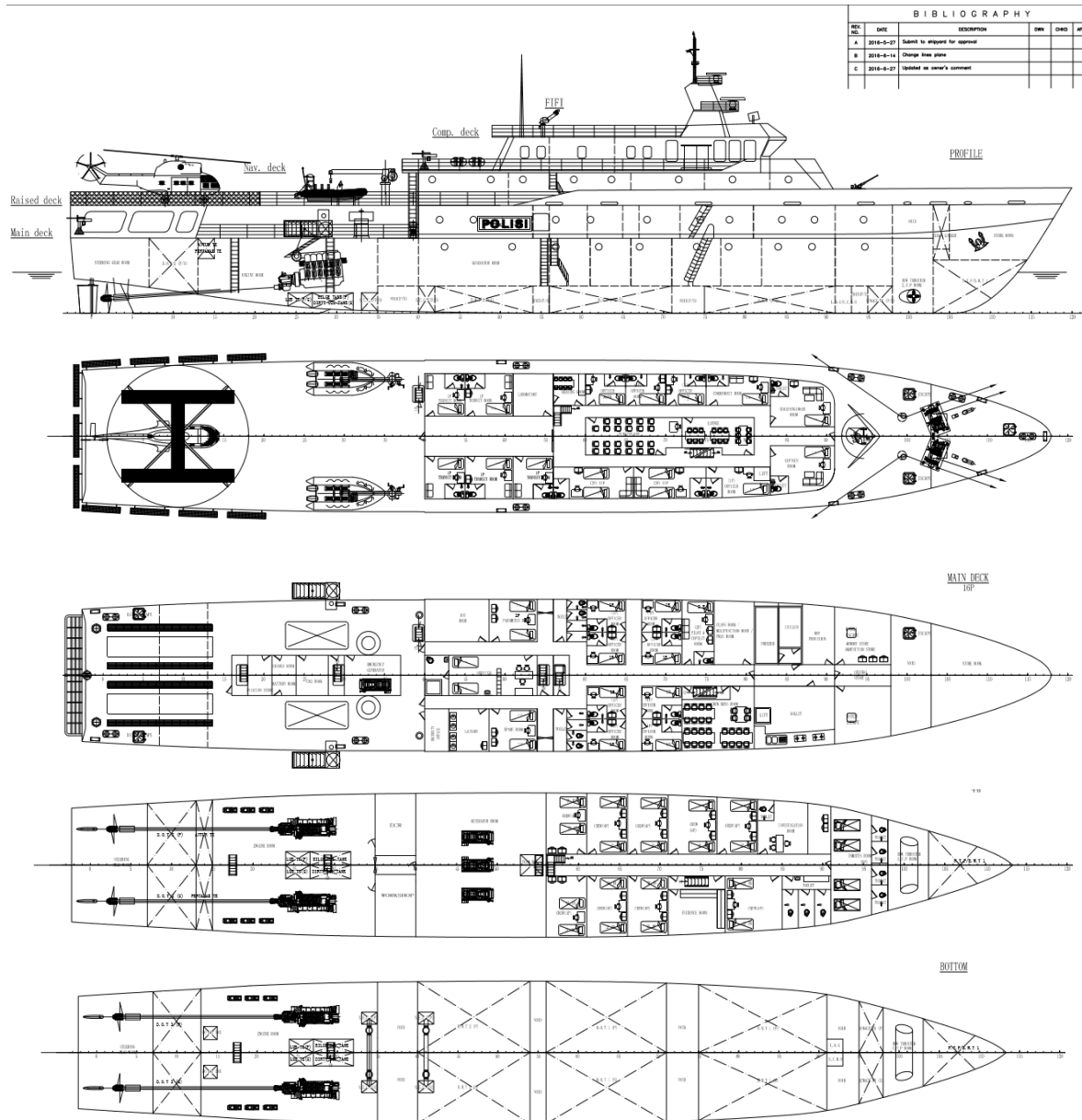
Tabel 3. 1 Ukuran Utama

No	Ukuran Utama Kapal Patroli	
1	<i>Length Overall</i> (LoA)	73 m
2	<i>Length between Perpendicular</i> (Lpp)	68 m
3	Sarat ( <i>moulded</i> ) (T)	3 m
4	Tinggi ( <i>moulded</i> ) (D)	5.5 m
5	Lebar ( <i>moulded</i> ) (B)	11,35 m
6	Kecepatan Dinas ( $V_s$ )	18 <i>knots</i>
7	Kru dinas	68 <i>persons</i>

#### 3.3.2. Rencana Umum

Rencana Umum merupakan desain Kapal Patroli secara keseluruhan termasuk bagian lambung secara keseluruhan, tampak samping kapal secara utuh, tampak atas, *superstructure*, *deckhouse* dan kompartemen-kompartemen lain yang terpasang pada kapal. Pada Gambar 3. 2 terlihat juga bagian *helideck* yang akan dianalisis, dimensi *helideck* dan struktur lain yang terkait dengan *helideck*. Struktur lain yang dimaksud adalah *raised deck* sekoci, dan geladak utama yang terdapat tepat di bawah *helideck*.

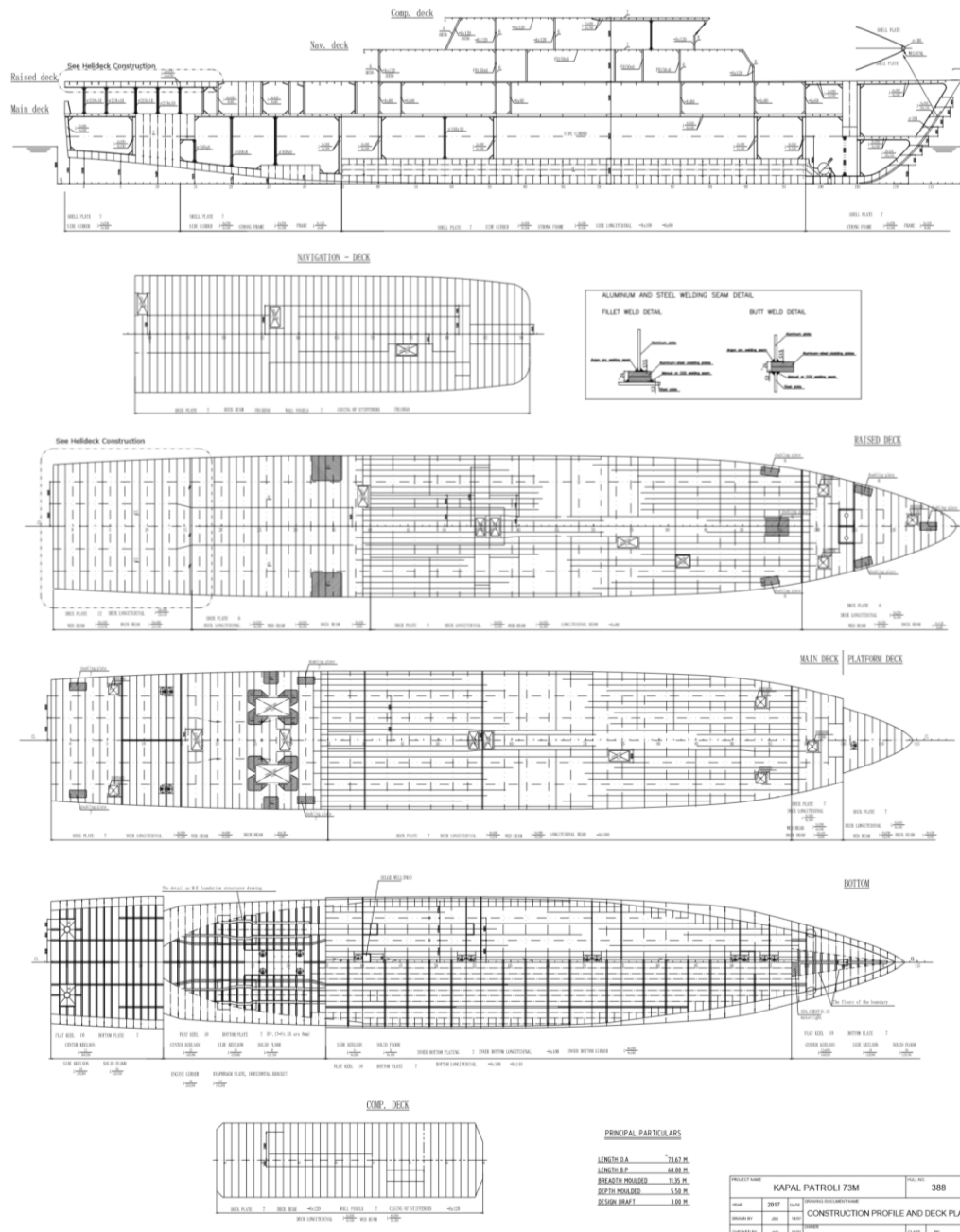




Gambar 3. 2 Rencana Umum Kapal Patroli  
(sumber : PT. xxx)

### 3.3.3. Construction Profile

*Construction Profile* adalah gambar yang menampilkan desain konstruksi dari Kapal Patroli. Dari data *Construction Profile* dapat dilihat sistem konstruksi kapal, pada bagian lambung, geladak utama, sisi, dan bangunan atas. Selain system, terdapat juga jarak gading-gading utama dan sekat-sekat yang terdapat pada kapal. *Construction profile* juga menampilkan konfigurasi atau susunan elemen konstruksi memanjang kapal. Gambar 3. 3 menunjukkan *Construction Profile* dari Kapal Patroli.

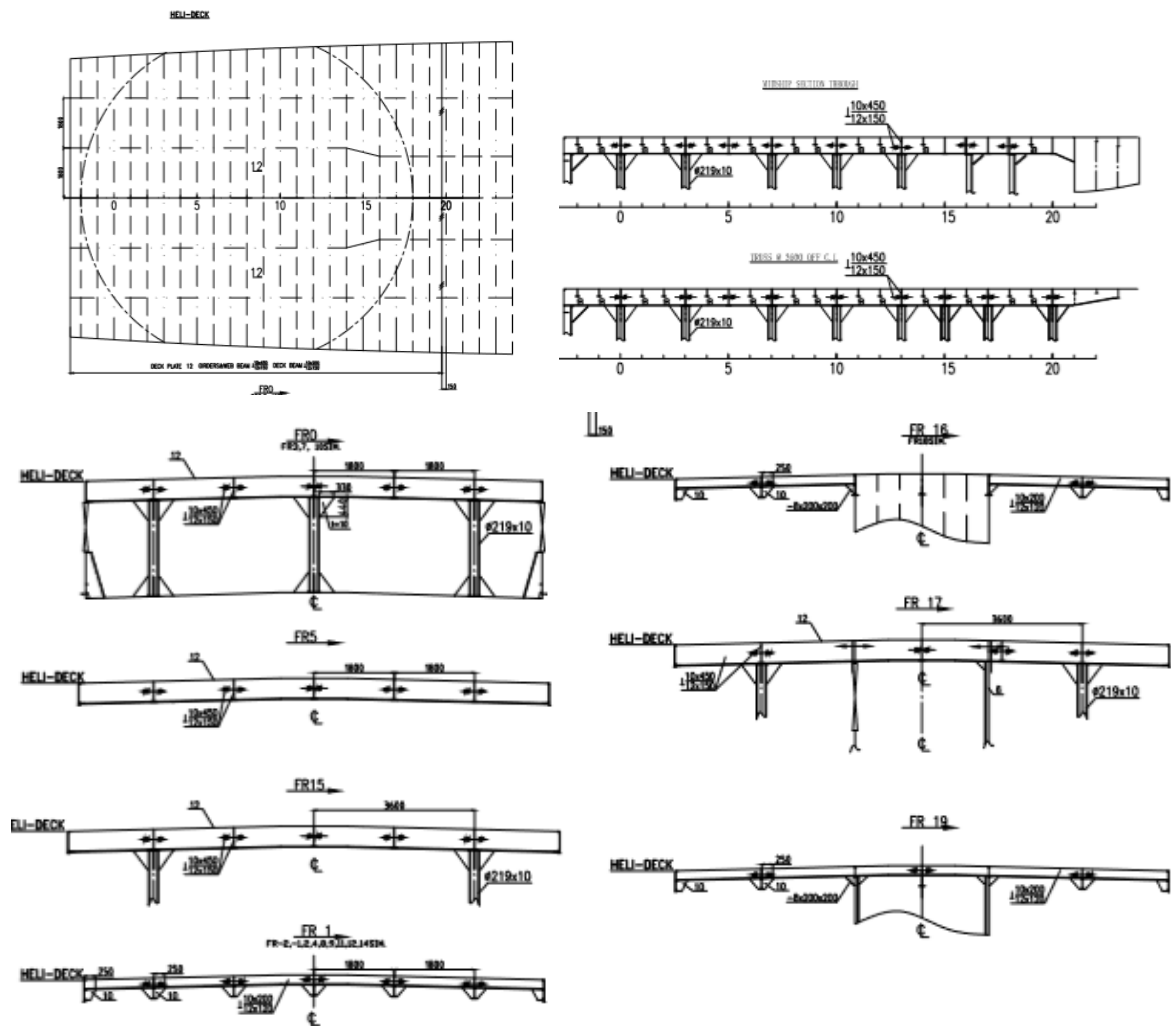


Gambar 3. 3 *Construction Profile* Kapal Patroli  
(sumber: PT. xxx)

### 3.3.4. Helideck Construction Drawing

*Helideck Construction Drawing* adalah gambar *detail* yang menampilkan rancangan konstruksi *helideck* Kapal Patroli. Area *helideck* terbentang sepanjang dua puluh dua jarak gading dari sekat belakang kapal dengan area landas sepanjang dua puluh jarak gading (sekitar 12 meter) dan lebar sekitar 10 meter. *helideck* ditumpu oleh lima buah *girder* dari profil jenis T berukuran 450 mm x 10 mm (*web*) dan 150 mm x 12 mm untuk ukuran *face*. Balok besar *helideck* berukuran yang sama dengan *girder*, dipasang pada nomor gading 0, 3, 5, 7, 10, 13,

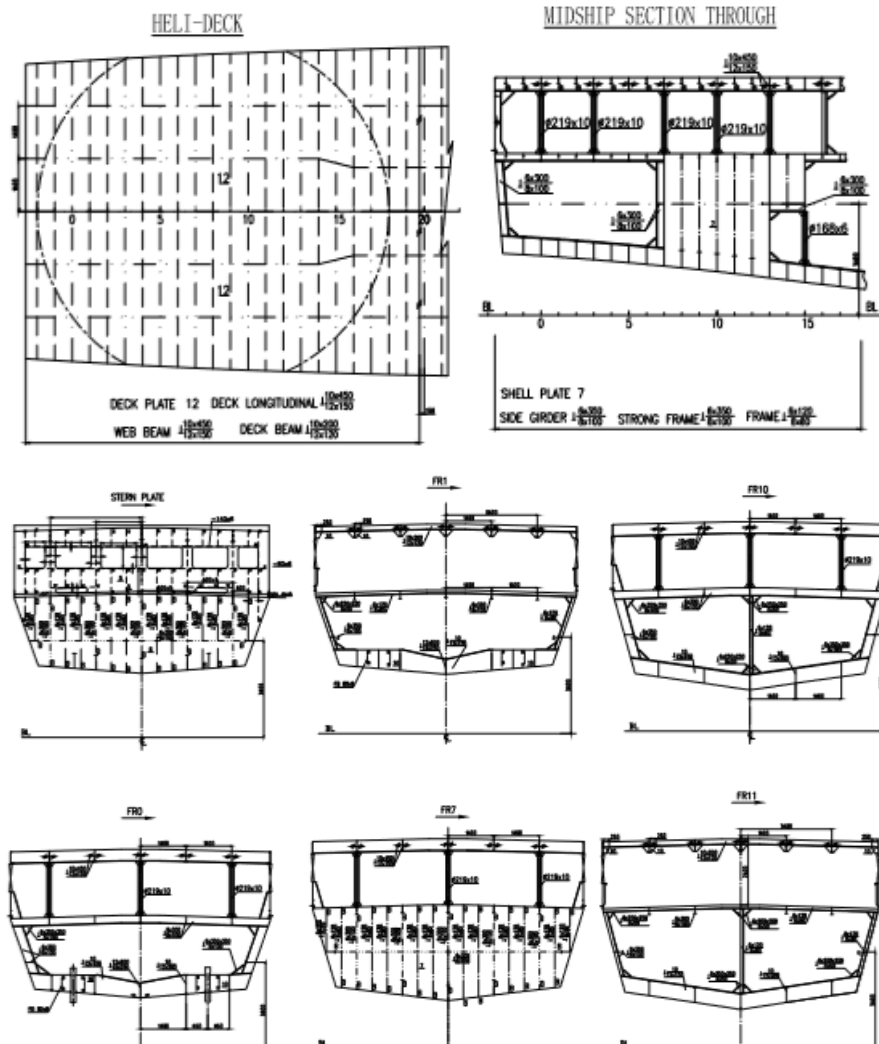
15, 17 dan 20. Balok utama merupakan profil T dengan ukuran 200 mm x 10 mm (*web*) dan 150 mm x 12 mm (*face*). Gambar 3. 4 menampilkan konfigurasi *helideck* secara spesifik.



Gambar 3. 4 *Helideck Construction* Kapal Patroli  
(sumber: PT. xxx)

### 3.3.5. *After Construction Drawing*

*After Contruction Drawing* adalah data gambar yang menampilkan keseluruhan konstruksi pada buritan kapal Kapal Patroli. Dari data *After Contruction Drawing* dapat dilihat sistem konstruksi pada buritan kapal, khususnya di bagian *helideck*, geladak utama, sisi, dan bangunan atas. Lengkap jarak gading-gading utama, sekat-sekat yang terdapat pada kapal. *After Contruction Drawing* juga menampilkan konfigurasi atau susunan elemen konstruksi memanjang kapal. Pada Gambar 3. 5 terlihat penampang melintang kapal pada nomor gading 0, 1, 7, 10, 11 dan *Stern Plate* atau pelat buritan. Konfigurasi pilar pada *centre line* terletak pada gading 0, 3, 7, 10, dan 13.



Gambar 3. 5 *After Construction* Kapal Patroli  
(sumber: PT. xxx)

Berdasarkan data-data di atas, maka dapat disusun rekapitulasi konstruksi *helideck* Kapal Patroli untuk memudahkan penulis dalam proses Analisis sebelumnya. Rekapitulasi konstruksi meliputi bagian-bagian yang direncanakan akan dianalisis. Batasan pada koordinat memanjang dibatasi hingga gading ke tujuh belas, secara vertikal dibatasi dari atas pelat geladak utama hingga pelat *helideck* dan secara melintang dibatasi hingga pelat sisi. Rekapitulasi dapat dilihat pada Tabel 3.2.

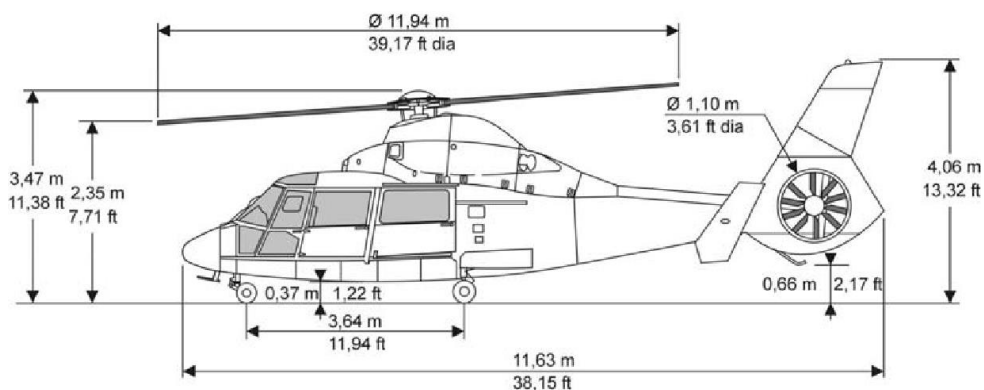
Tabel 3.2 Rekapitulasi Ukuran Konstruksi *Helideck*

No	Nama Konstruksi	Ukuran
1	Pelat <i>Helideck</i>	12 mm
2	Penumpu <i>Helideck</i>	T 450 x 10 (W) - 150 x 12 (F)
3	Balok Besar <i>Helideck</i>	T 450 x 10 (W) - 150 x 12 (F)
4	Balok <i>Helideck</i>	T 200 x 10 (W) - 120 x 12 (F)

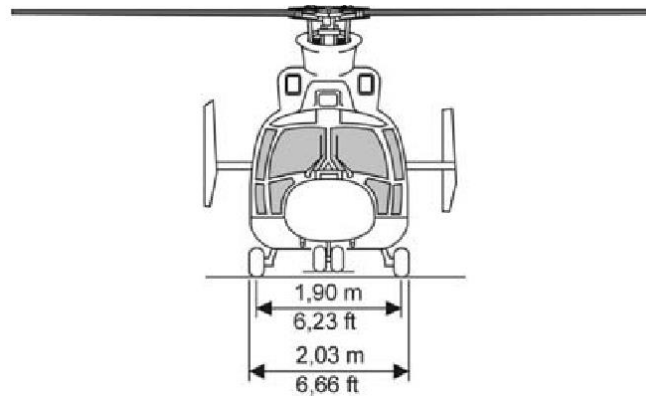
5	Pelat Buritan	5 mm
6	Penumpu Pelat Buritan	T 300 x 6 (W) - 100 x 8 (F)
7	Penegar Pelat Buritan	80 x 6
8	Penumpu Horizontal Pelat Buritan	140 x 6
9	Pelat Sisi	7 mm
10	Penumpu Pelat Sisi	T 350 x 6 (W) - 100 x 8 (F)
11	Penegar Pelat Sisi	80 x 6
12	Penumpu Memanjang Pelat Sisi	L 140 x 6 (W) - 120 x 6 (W)
13	Penumpu Memanjang Sekunder Sisi	50 x 6
14	Sekat Ruangan	6 mm
15	Penumpu Sekat Ruangan	T 120 x 6 (W) - 80 x 8 (F)
16	Penegar Sekat Ruangan	80 x 6
17	Ukuran Pilar	D 219 - t 10
	Diameter Luar	219
	Diameter Dalam	199

### 3.3.6. Spesifikasi Helikopter

Spesifikasi helikopter sangat dibutuhkan dalam penelitian Tugas Akhir sebagai salah satu sumber pembebanan. Pembebanan menjadi penting karena pembebanan berperan sebagai suatu input utama dalam perencanaan sebuah desain atau konstruksi. Dalam hal ini berat helikopter dijadikan sebagai salah satu representasi dari beban yang akan disimulasikan. Pemilihan helikopter dilakukan berdasarkan data kepemilikan helikopter Kepolisian Republik Indonesia dan diperkuat dengan adanya pengujian geladak dengan helikopter serupa. Spesifikasi helikopter dapat dilihat pada Gambar 3. 7 dan Gambar 3. 6.



Gambar 3. 6 Spesifikasi Dimensi Helikopter AS 365 Dauphin (A)



Gambar 3. 7 Spesifikasi Dimensi Helikopter AS 365 Dauphin (B)  
(sumber: Airbus)

### 3.3.7. Data Lingkungan

Data lingkungan yang digunakan adalah data gelombang perairan Indonesia. Data gelombang yang digunakan adalah data *significant wave*, periode gelombang, dan jumlah kejadian gelombang yang merupakan representasi dari karakteristik data gelombang. Data distribusi kejadian gelombang setiap arah dapat dilihat pada Tabel 3.3 adalah sebagai berikut:

Tabel 3.3 Persentase Gelombang Setiap Arah

<i>Direction</i>	<i>Number of Hours</i>	<i>Percentage (%)</i>
<i>North</i>	7883	4,73
<i>North North East</i>	1811	1,09
<i>North East</i>	823	0,49
<i>East North East</i>	1559	0,94
<i>East</i>	9971	5,99
<i>East South East</i>	11934	7,16
<i>South East</i>	7105	4,27
<i>South South East</i>	3276	1,97
<i>South</i>	2894	1,74
<i>South South West</i>	825	0,5
<i>South West</i>	749	0,45
<i>West South West</i>	2601	1,56
<i>West</i>	41901	25,16
<i>West North West</i>	22938	13,77
<i>North West</i>	8199	4,92
<i>North North West</i>	7143	4,29
<i>Wavy</i>	131612	79,02
<i>Calm</i>	33640	20,09
<i>Unrecorded</i>	1488	0,89
<i>Total</i>	166560	100

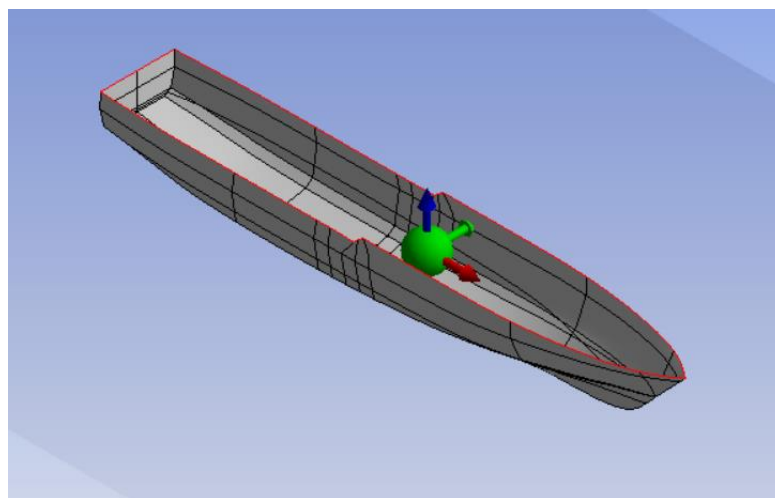
Tabel 3.4 menunjukkan probabilitas terjadinya gelombang dengan sampel arah *west*. Analisis hidrodinamis yang dilakukan meliputi arah gelombang mulai dari  $0^\circ$  hingga  $180^\circ$  dengan kenaikan sudut sebesar  $45^\circ$ . Sedangkan untuk rentang frekuensi yang digunakan dalam analisis hidrodinamis berdasar pada aturan *classification society* dengan rentang 0,1 rad/s hingga 1,8 rad/s.

Tabel 3.4 *Joint probability* Gelombang 100 Tahun – *W Direction*

Significant Wave Height, $H_s$	Peak Period, $T_p$ (Second)								
	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	Total
0,0 – 0,5	0,01	0,07	0,25	-	-	-	-	-	0,32
0,5 – 1,0	-	-	0,09	0,44	-	-	-	-	0,53
1,0 – 1,5	-	-	-	0,03	0,10	-	-	-	0,13
1,5 – 2,0	-	-	-	-	0,01	0,01	-	-	0,01
2,0 – 2,5	-	-	-	-	-	0,01	-	-	0,01
2,5 – 3,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3,0 – 3,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3,5 – 4,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4,0 – 4,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4,5 – 5,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	0,01	0,07	0,34	0,47	0,11	0,01	-	-	1,00

### 3.4. Permodelan Hidrodinamis

Permodelan dan analisis hidrodinamis ini bertujuan untuk mendapatkan percepatan olah gerak kapal akibat gelombang laut. Percepatan olah gerak kapal ini selanjutnya digunakan sebagai input beban dalam analisis struktur. Permodelan geometri lambung Kapal Patroli dilakukan dengan bantuan *software* CAD untuk menghasilkan bentuk lambung Kapal Patroli dengan skala 1:1. Selanjutnya model lambung Kapal Patroli digunakan untuk menganalisis percepatan olah gerak kapal dengan bantuan perangkat lunak analisis hidrodinamis. Permodelan lambung Kapal Patroli dapat dilihat pada Gambar 3. 8.



Gambar 3. 8 Permodelan Lambung Kapal Patroli

Sebelum dilakukan Analisa hidrodinamis dengan perangkat lunak, dilakukan pendefinisian letak sarat dan penentuan besar massa dan radius girasi. Untuk input radius girasi ini secara umum menggunakan pendekatan sebagai berikut:

$$K_{xx} = 0,34 \times Beam \quad (3.1)$$

$$K_{yy} = 0,25 \times Length \quad (3.2)$$

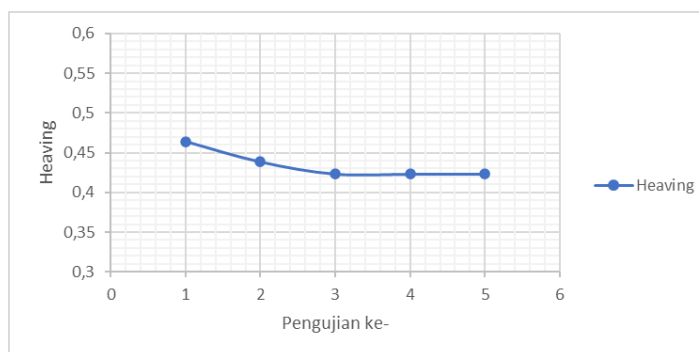
$$K_{zz} = 0,26 \times Length \quad (3.3)$$

Model geometri yang telah didefinisikan letak sarat, besar massa, dan radius girasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. 8. Setelah itu dilakukan validasi model dengan toleransi 5% dan analisis *independence mesh*. Analisis *grid independence* adalah iterasi variasi ukuran elemen untuk mendapatkan hasil yang stabil pada setiap ukuran elemen. Output yang digunakan sebagai acuan dalam proses analisis ini adalah luasan RAO pada gerak *heaving* dan *pitching*.

Langkah pertama dalam melakukan *grid independence* adalah dengan menginput ukuran elemen. Kemudian dijalankan simulasi model pada geometri hingga *solution* berupa luasan RAO pada gerak *heave* dan *pitch* didapatkan. Setiap *solution* didapatkan, dilanjutkan dengan ukuran elemen yang lebih kecil dari sebelumnya. Dari simulasi yang dijalankan akan menghasilkan nilai RAO yang berbeda dan dilakukan pemilihan nilai elemen yang paling stabil. Berikut ini adalah hasil simulasi dengan *output* luasan RAO *heave* dan *pitch* yang ditunjukkan pada Tabel 3. 5.

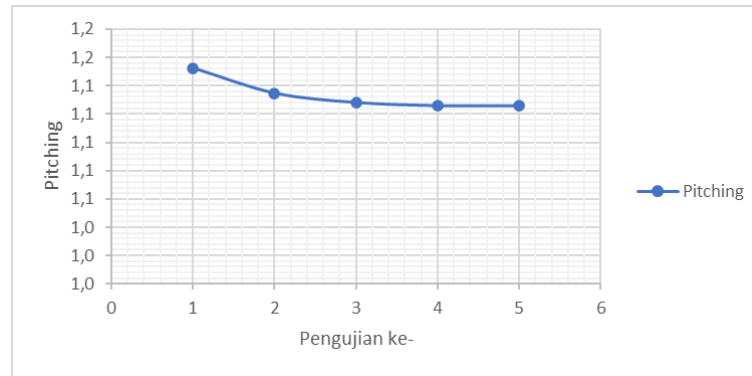
Tabel 3. 5 Konvergensi Elemen

Uji	Ukuran Elemen	Banyak Elemen	Luasan RAO		Selisih	
			<i>Heaving</i>	<i>Pitching</i>		
1	2 m	1515	0.4642	1.1524		
2	1,9 m	1740	0.4388	1.1347	5.474%	1.767%
3	1,8 m	1829	0.4236	1.1281	3.465%	0.659%
4	1,7 m	1991	0.4234	1.1259	0.038%	0.226%
5	1,6 m	2275	0.4234	1.1259	0.012%	0.001%



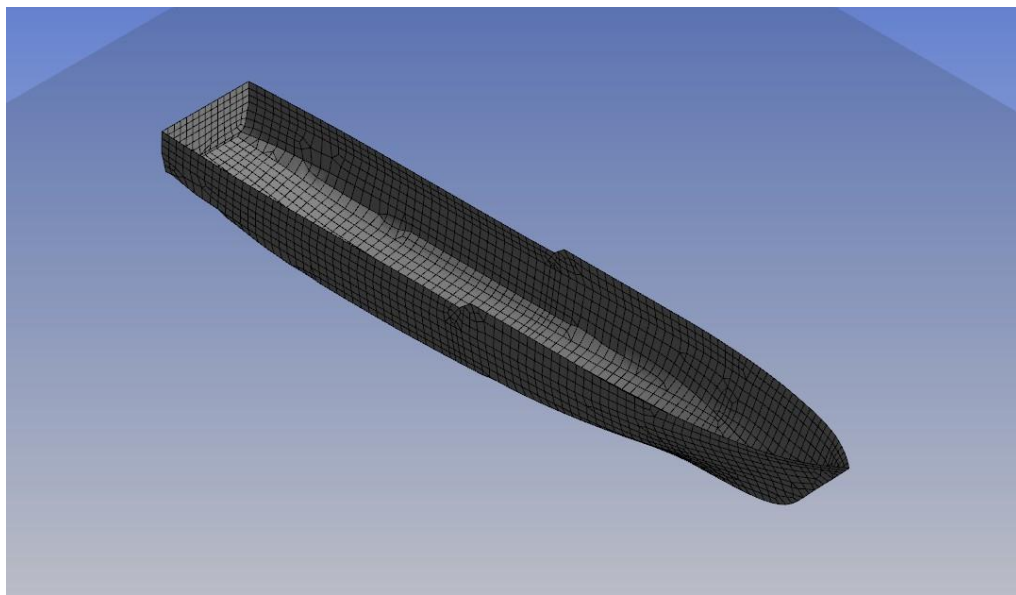
Gambar 3. 9 Kurva Luasan RAO *Heaving*





Gambar 3. 10 Kurva Luasan RAO *Pitching*

Berdasarkan Tabel 3. 5 diperoleh hasil *margin error* sebesar 0.038% untuk luasan RAO *heaving* dan 0.226% untuk luasan RAO *pitching* dari hasil pengujian ke-4 dengan ukuran elemen 1.7 meter. Dengan diperoleh hasil tersebut, maka selanjutnya melakukan proses *meshing* geometri dengan ukuran elemen yang sudah stabil. Hasil *meshing* geometri dapat dilihat pada Gambar 3. 11.



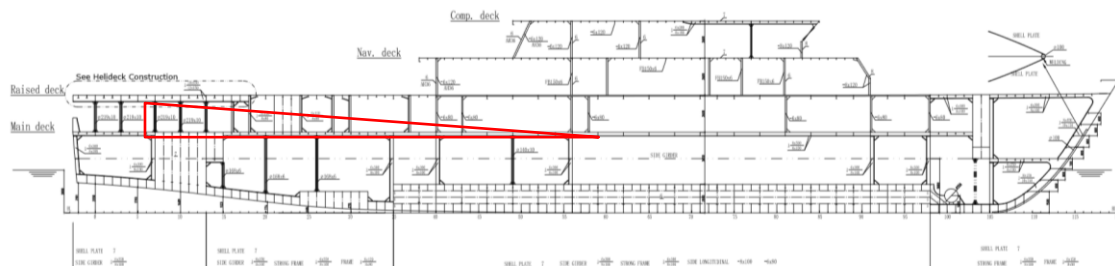
Gambar 3. 11 *Meshing* Geometri

### 3.5. Perhitungan Beban dan Titik Pendaratan

#### 3.5.1. Perhitungan Beban

Beban – beban yang digunakan pada penelitian ini adalah beban dimana helikopter bersandar di *helideck* dan beban akibat gerakan *heaving* dan *pitching*. Beban akibat gerakan ini dihitung dengan hasil simulasi berupa percepatan dimana percepatan tersebut terbagi menjadi dua jenis, yaitu percepatan linear untuk gerakan translasional dan percepatan angular untuk gerakan rotasional. Untuk gerakan translasional, beban akibat gerak *heave* didapatkan dengan

persamaan 2.16 dan untuk gerakan rotasional, beban akibat *pitch* didapatkan dengan mengkonversi percepatan angular menjadi percepatan linear seperti persamaan 2.17 lalu disubstitusikan pada persamaan untuk mendapat bebannya. Pada persamaan 2.16, nilai  $r$  merupakan jari – jari girasi yang digunakan untuk mengkonversi percepatan angular terhadap *helideck* dimana nilai  $r$  merupakan jarak COG Kapal Patroli Lepas Pantai terhadap titik berat model *helideck*. Gambar 3. 12 menunjukkan posisi *helideck* dari kapal patrol lepas pantai.



Gambar 3. 12 Posisi *Helideck* dari Kapal Patrol Lepas Pantai

Kombinasi pembebanan yang digunakan adalah beban akibat gerak kapal dengan variasi pembebanan dari arah  $0^\circ$  hingga  $180^\circ$  dengan kenaikan sudut sebesar  $45^\circ$ , variasi tinggi gelombang signifikan, dan *peak period* sesuai arah masing-masing gelombang sehingga variasi pembebanan yang dilakukan pada penelitian ini berjumlah 50 variasi. Tabel 3. 6 merupakan salah satu format sampel variasi yang dilakukan pada sudut hadap gelombang  $0^\circ$ .

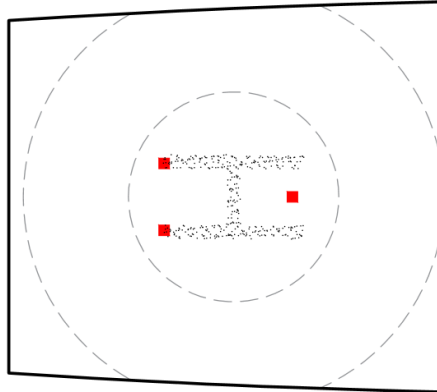
Tabel 3. 6 Variasi pada Sudut Hadap  $0^\circ$

Variasi	Tinggi Gelombang	<i>Peak Period</i>
$0^\circ$ -1	0,25	3,5
$0^\circ$ -2	0,25	4,5
$0^\circ$ -3	0,25	5,5
$0^\circ$ -4	0,75	5,5
$0^\circ$ -5	0,75	6,5
$0^\circ$ -6	1,25	6,5
$0^\circ$ -7	1,25	7,5
$0^\circ$ -8	1,75	7,5
$0^\circ$ -9	1,75	8,5
$0^\circ$ -10	2,25	8,5

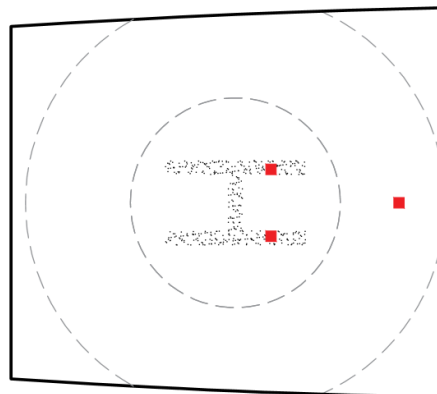
### 3.5.2 Skenario Titik Pendaratan

Skenario titik pendaratan dilakukan untuk memastikan bahwa pilar yang telah dioptimasi mampu menunjang pendaratan helikopter dalam beberapa skenario yang mungkin

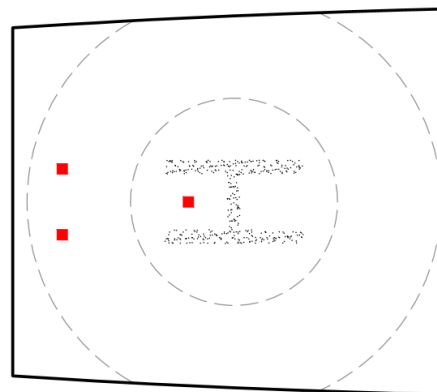
saja terjadi. Secara ideal, sebuah helikopter akan mendarat tepat ditengah Helipad dan titik kontak roda helikopter berada di dalam lingkaran helipad, namun pada beberapa kondisi pendarat sebuah helikopter tidak berjalan lurus atau mendarat dengan sempurna. Ketidaksempurnaan dalam pendaratan dalam penelitian ini diasumsikan helikopter mendarat pada titik yang jaraknya sejauh setengah diameter helipad ke arah haluan dan sejauh setengah diameter helipad ke arah buritan. Dimana setengah diameter helipad setara dengan 5,97 meter. Skenario jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3. 13 sampai dengan Gambar 3. 15.



Gambar 3. 13 Skenario Pendaratan 1 (LP 1)



Gambar 3. 14 Skenario Pendaratan 2 (LP 2)

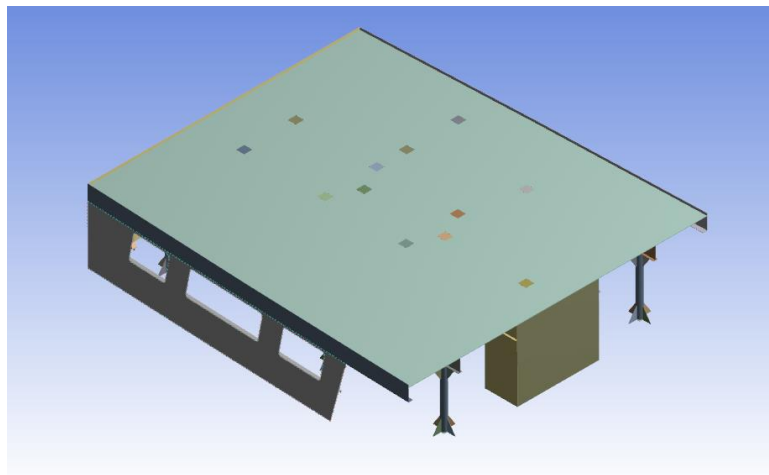


Gambar 3. 15 Skenario Pendaratan 3 (LP 3)

Gambar 3. 13 merupakan penggambaran mengenai kondisi pendaratan ideal, dimana semua titik kontak roda helikopter berada di dalam area *Helipad*. Kondisi tersebut seterusnya akan disebut LP 1. Gambar 3. 14 menggambarkan kondisi pendaratan dimana kontak pendaratan berada sejauh 5,97 meter ke arah haluan, *nose wheel* berada di luar area *helipad*, kedua roda utama berada di dalam area *helipad* (LP 2). Gambar 3. 15 menggambarkan kondisi pendaratan dimana kontak pendaratan berada sejauh 5,97 meter ke arah buritan, kedua roda utama berada di luar area *helipad* dan *nosewheel* berada di dalam *helipad* (LP 3).

### 3.6. Permodelan Struktur

Model geometri struktur Kapal Patroli dibuat dengan bantuan *software* CAD. Selanjutnya permodelan struktur Kapal Patroli akan dianalisis dengan menggunakan metode elemen hingga untuk mendapatkan nilai tegangan pada struktur *helideck* yang dimodelkan sehingga dapat diketahui titik kritis untuk ditinjau dalam analisis struktur. Dalam analisis struktur, terdapat juga 3 variasi posisi helikopter sepanjang garis *centerline*. Selanjutnya nilai tegangan ini akan diinput dalam perhitungan umur kelelahan. Gambar 3. 16 merupakan permodelan struktur global.

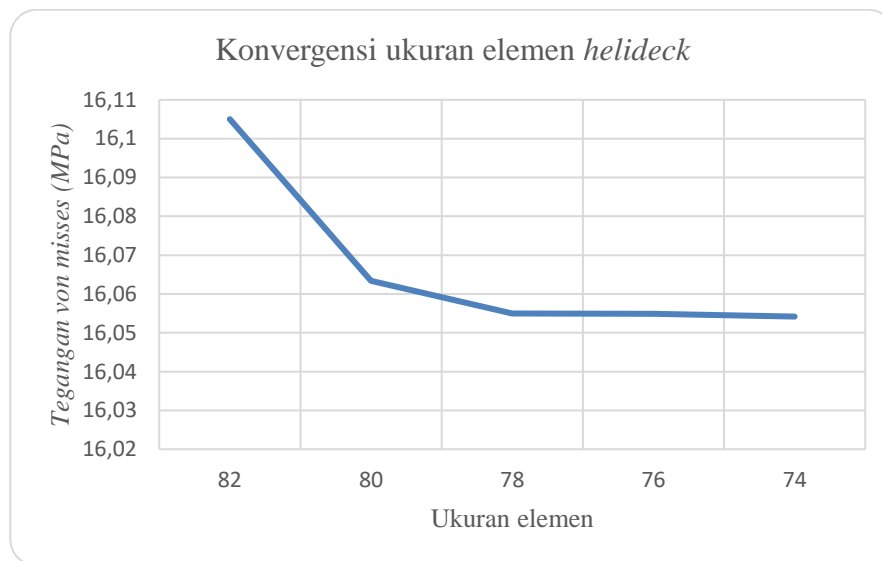


Gambar 3. 16 Permodelan Struktur Global

Tahap berikutnya yaitu melakukan konvergensi dengan membandingkan beberapa hasil simulasi tegangan dengan ukuran elemen yang berbeda hingga mencapai hasil yang stabil pada tiap ukuran elemen. Dari setiap hasil yang didapatkan, dilanjutkan dengan mengubah ukuran elemen yang lebih kecil dari sebelumnya. Terdapat dua macam konvergensi yaitu untuk ukuran elemen *helideck* dan untuk ukuran element pilar. Kedua konvergensi tersebut dapat dilihat pada Tabel 3. 7 dan Tabel 3. 8. Selain tabel, konvergensi ukuran elemen untuk *helideck* (Gambar 3. 17) dan pilar (Gambar 3. 18) juga ditunjukkan dalam bentuk kurva.

Tabel 3. 7 Konvergensi Ukuran Elemen *Helideck*

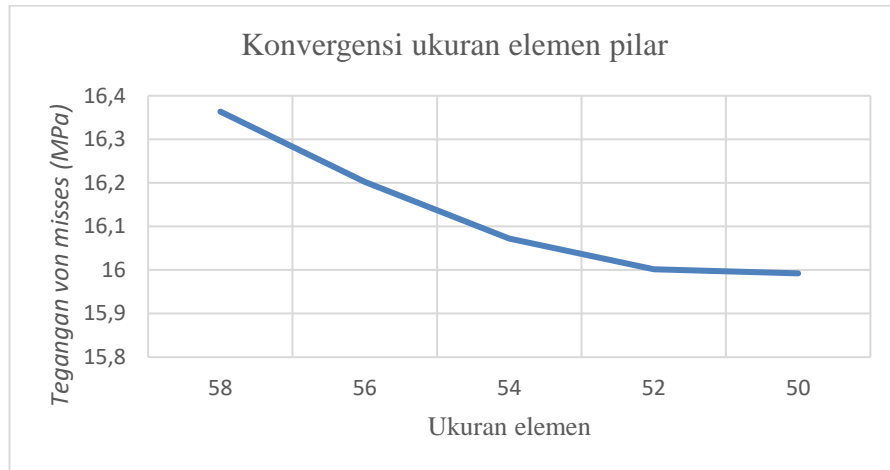
Ukuran Elemen <i>Helideck</i> (mm)	Tegangan Von <i>Misses</i> (MPa)	Selisih
82	16,10	
80	16,06	0,26%
78	16,05	0,05%
76	16,05	0,00%
74	16,05	0,00%

Gambar 3. 17 Kurva Konvergensi Ukuran Elemen *Helideck*

Berdasarkan Tabel 3. 7 diperoleh hasil *margin error* sebesar 0.00% dengan ukuran elemen 76 mm dan tegangan sebesar 16.054 MPa. Selanjutnya adalah melakukan konvergensi elemen pada pilar. Berikut ini merupakan konvergensi elemen pilar yang ditunjukkan oleh Tabel 3. 8 dan Gambar 3. 18.

Tabel 3. 8 Konvergensi Ukuran Element Pilar

Ukuran elemen <i>pilar</i> (mm)	Tegangan von <i>misses</i> (MPa)	Selisih
58	16,36	
56	16,20	0,99%
54	16,07	0,80%
52	16,00	0,44%
50	15,99	0,06%

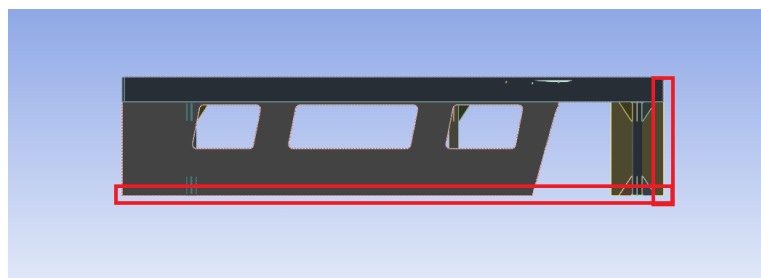


Gambar 3. 18 Kurva Konvergensi Ukuran Elemen Pilar

Berdasarkan Tabel 3. 8 diperoleh hasil *margin error* sebesar 0.59% dengan ukuran elemen 50 mm dan tegangan sebesar 15.992 MPa.

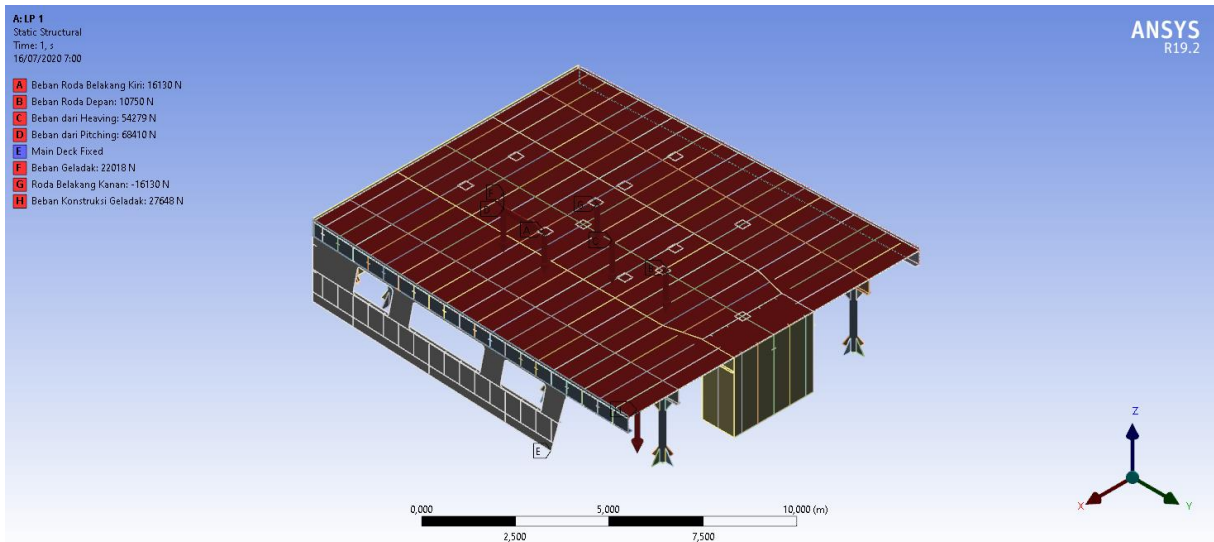
### 3.7. Kondisi Batas dan Pembebanan

Pemberian kondisi batas pada geometri struktur Kapal Patroli berupa *fixed support* yang diaplikasikan pada ujung geometri (*face*) pada geometri potongan model *helideck* dari kapal utuh yang ditunjukkan seperti pada Gambar 3. 19.



Gambar 3. 19 *Fixed Support*

Setelah pemberian kondisi batas, dimasukkan komponen – komponen beban yaitu gaya dari roda helikopter, beban akibat gerakan *heaving* dan *pitching*, beserta beban geladak yang ditunjukkan pada Gambar 3. 20. Untuk beban akibat gerakan *heave* dan *pitch* besar gaya didapatkan dengan persamaan 2.16 dan 2.17. Sedangkan untuk gaya dari helikopter didapat dengan mengikuti aturan biro klasifikasi mengenai *load case 2* pada *helideck*. Pembebanan helikopter dihitung dengan kondisi statis helikopter diatas *helideck* dimana beban terdiri dari geladak itu sendiri serta berat helicopter secara menyeluruh. Nilai pembebanan yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 3. 9.



Gambar 3. 20 Input Pembebanan

Tabel 3. 9 Besar Pembebanan

No.	Jenis Beban	Titik Beban	Besar Beban (kN)
1.	Beban Geladak	Terdistribusi	22,02
2.	Beban Konstruksi Geladak	Terdistribusi	27,65
3.	Beban Roda Belakang	Roda Belakang Kiri	16,13
		Roda Belakang Kanan	16,13
4.	Beban Roda Depan	Roda Depan	10,75
5.	Beban Akibat Gerak <i>Heave</i>	Terdistribusi	54,28
6.	Beban Akibat Gerak Pitch	Terdistribusi	68,41

### 3.8. Perhitungan Umur Kelelahan

Pada penelitian ini perhitungan umur kelelahan diperhitungan menggunakan metode pendekatan *fracture mechanics* dengan pemberian retak awal sebesar 0,5 mm berdasarkan DNV-RP C203. Retak awal akan menyebabkan konsentrasi tegangan pada struktur dan berpotensi mengalami perambatan retak. Besarnya retak kritis dihitung menggunakan persamaan 2.41 dengan besar tegangan didapatkan melalui analisis tegangan. Nilai  $K_{IC}$  menggunakan hasil eksperimen yang telah dilakukan oleh AIMEN sesuai dengan Tabel 2. 2, kemudian untuk nilai C dan nilai m diambil dari Tabel 2. 3. Eksperimen tersebut menggunakan 8 material dengan salah satunya adalah AH 36 yang merupakan material yang sama dengan struktur yang ditinjau.

Nilai  $K_{IC}$ , nilai C, dan nilai m yang digunakan pada analisis perambatan retak adalah sebagai berikut.

$$K_{IC} = 33,0 (\pm 1.2) \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$$

$$C = 2 \times 10^{-12}$$

$$m = 3,46$$

Dengan terjadinya perambatan retak, maka dicari *stress intensity factor* (SIF) pada setiap perambatan retaknya. Nilai SIF inilah yang digunakan dalam persamaan *paris law* untuk mendapatkan kecepatan rambat retak. Umur kelelahan dapat diperhitungkan setelah mendapatkan jumlah siklus dari setiap ukuran retak yang terjadi. Jumlah siklus dihitung berdasarkan *paris law* dimana dilakukan perbandingan rentang kedalaman retak dengan laju perambatan retak. Laju perambatan retak dapat ditentukan melalui persamaan 2.43 dan dinyatakan dengan variable  $da/dN$  yang merupakan fungsi dari sifat material, kedalaman retak, faktor geometri, dan tegangan. Rentang siklus dapat dihitung dengan persamaan 3.1. Setelah itu dilakukan perhitungan total siklus melalui penjumlahan siklus dengan persamaan 3.2.

$$\Delta N = \frac{da}{da/dN} \quad (3.1)$$

$$N_t = \Delta N + N_i \quad (3.2)$$

Pada perhitungan umur kelelahan, perlu diketahui parameter – parameter seperti pada perhitungan perambatan retak yaitu parameter SIF dan parameter material yakni C dan m. Nilai C dan m yang digunakan adalah berdasarkan percobaan yaitu nilai C dan m masing – masing sebesar  $2 \times 10^{-12}$  dan 3,46.



## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Analisa Hidrodinamis

##### 4.1.1. Validasi Model

Pemodelan geometri lambung Kapal Patroli Lepas Pantai harus memiliki tingkat kesuaian yang tinggi dengan bentuk aslinya. Sehingga model harus dilakukan validasi dengan toleransi kesalahan sebesar 5%. Validasi model yang digunakan adalah validasi *displacement* data dengan *displacement* model numerik pada perangkat lunak hidrodinamis. Tabel 4. 1 merupakan tabel validasi model lambung.

Tabel 4. 1 Validasi Model Lambung

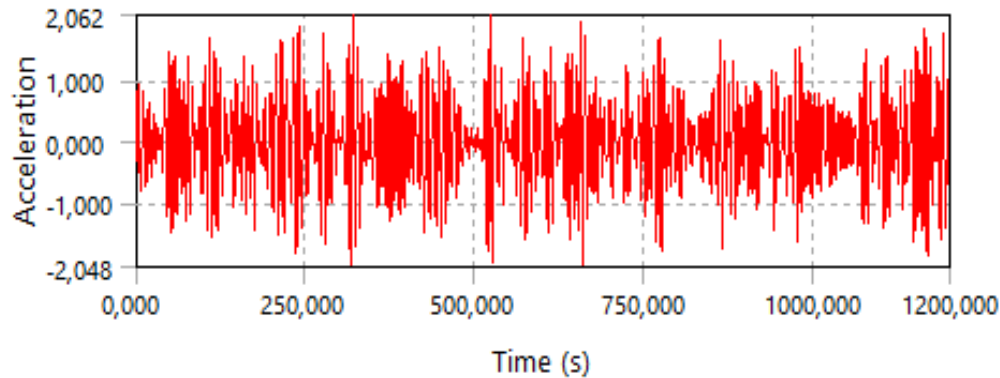
Parameter	Unit	Data	Model Numerik	Selisih (%)
<i>Displacement</i>	ton	1079,07 ton	1096,20 ton	2%

Pada Tabel 4. 1 menunjukkan bahwa selisih antara *displacement* data dengan *displacement* model kurang dari 5%, dengan demikian model yang digunakan telah mendekati dengan bentuk yang sebenarnya.

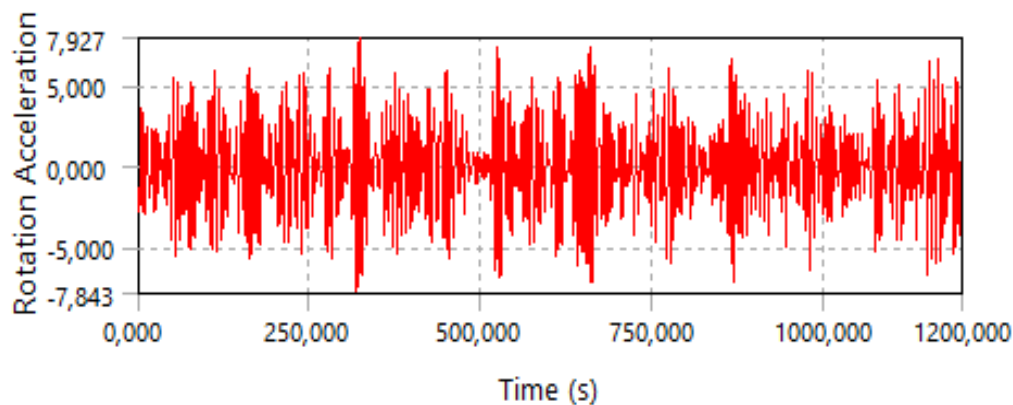
##### 4.1.2. Percepatan Olah Gerak Kapal

Percepatan olah gerak kapal (*acceleration motion*) Kapal Patroli Lepas Pantai dihitung menggunakan analisis *time response* dengan gelombang ireguler dibantu dengan perangkat lunak analisis hidrodinamis. Nilai percepatan gerak (*acceleration motion*) yang dianalisa sesuai dengan batasan masalah untuk pengerjaan Tugas Akhir yang meliputi gerakan *heave* dan *pitch*. Rentang frekuensi gelombang dan *heading* gelombang yang digunakan untuk analisis hidrodinamis mengikuti peraturan *seakeeping* yang diatur dalam aturan klasifikasi. Frekuensi yang digunakan secara normal yaitu 0,1 rad/detik hingga 1,8 rad/detik. Sedangkan untuk arah atau *heading* gelombang menggunakan sudut 0° hingga 180° dengan kenaikan 45°. Dalam analisis ini, spektrum gelombang menggunakan teori JONSWAP dengan mengambil nilai  $\gamma$  (*gamma*) yang umum untuk perairan Indonesia yaitu 2,5. Simulasi dilakukan dengan waktu 1200 s. Kondisi gelombang yang digunakan adalah kondisi gelombang selama masa operasi sesuai pada Tabel 3.4.

Hasil simulasi pada arah gelombang *southeast* (  $135^\circ$ ) dengan tinggi gelombang ( $H_s$ ) 2,25 m dan *peak period* ( $T_p$ ) 8,5 ditunjukkan pada Gambar 4. 1 dan Gambar 4. 2 untuk variasi gelombang yang lain dapat dilihat pada lampiran.



Gambar 4. 1 Hasil Simulasi Percepatan Gerak *Heave*



Gambar 4. 2 Hasil Simulasi Percepatan Gerak *Pitch*

Gambar 4. 1 dan Gambar 4. 2 menunjukkan gerak *heave* dan gerak *pitch* yang dikarenakan gelombang datang dari arah *southeast* ( $135^\circ$ ). Dari grafik seperti diatas setiap variasi tinggi dan peak period diambil nilai maksimum. Tabel 4. 2 dan Tabel 4. 3 adalah nilai percepatan gerak pada arah gelombang *southeast* ( $135^\circ$ ) sesuai batasan masalah yaitu gerak *heave* dan *pitch*.

Tabel 4. 2 Percepatan Gerak *Heave* ( $m/s^2$ )

Wave Height (m)	Wave Period (sec)					
	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5
0 - 0,5	0,03	0,09	0,18			
0,5 - 1			0,53	0,97		
1 - 1,5				1,62	1,44	
1,5 - 2					2,01	1,60
2 - 2,5						2,06

Tabel 4. 3 Percepatan Gerak *Pitch* (rad/s<sup>2</sup>)

Wave Height (m)	Wave Period (sec)					
	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5
0 - 0,5	0,002	0,01	0,01			
0,5 - 1			0,05	0,07		
1 - 1,5				0,11	0,09	
1,5 - 2					0,12	0,11
2 - 2,5						0,14

#### 4.1.3. Perhitungan Beban

Beban yang digunakan untuk input pembebanan pada analisis struktur pada penelitian ini adalah beban akibat gerakan *heave* dan *pitch* Kapal Patroli Lepas Pantai. Beban tersebut merupakan beban akibat gerakan translasional dan gerakan rotasional. Untuk gerakan translasional didapatkan dengan persamaan 2.16. Dengan nilai percepatan seperti pada Tabel 4. 3. Hasil perhitungan beban akibat gerakan *heave* dapat dilihat pada Tabel 4. 4.

Tabel 4. 4 Beban Akibat Gerak *Heave* (kN)

Wave Height (m)	Wave Period (sec)					
	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5
0 - 0,5	0,87	2,41	4,64			
0,5 - 1			13,91	25,65		
1 - 1,5				42,75	37,80	
1,5 - 2					52,79	42,23
2 - 2,5						54,28

Untuk gerakan rotasional, pembebanan didapatkan dengan mengkonversi percepatan sudut yang didapat dari Tabel 4. 3 menjadi percepatan linear seperti yang dijelaskan pada persamaan 2.17 sehingga beban akibat gerakan *pitch* didapatkan dengan menggunakan persamaan 2.16. Hasil perhitungan beban akibat gerakan *pitch* dapat dilihat pada Tabel 4. 5.

Tabel 4. 5 Beban Akibat Gerak *Pitch* (kN)

Wave Height (m)	Wave Period (sec)					
	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5
0 - 0,5	1,15	4,09	7,59			
0,5 - 1			22,78	32,53		
1 - 1,5				54,21	44,41	
1,5 - 2					61,98	53,27
2 - 2,5						68,41

Nilai hasil perhitungan beban yang digunakan untuk analisis selanjutnya merupakan nilai maksimum dengan asumsi Kapal Patroli Lepas Pantai selalu mendapat beban akibat gerak

*heave* dan *pitch* dengan nilai yang ekstrim. Sehingga dengan asumsi tersebut, struktur yang ditinjau tidak mendapatkan hasil yang melebihi analisis yang sudah dilakukan.

Adapun selain pembebanan akibat olah gerak kapal, terdapat pembebanan yang umum terjadi pada struktur *helideck* yang mengacu dari peraturan biro klasifikasi. Pembebanan yang digunakan pada penelitian ini adalah pembebanan dengan kondisi dimana helikopter statis dan bersandar diatas *helideck* dengan variasi titik kontak helikopter dengan *helideck* yang sudah dijelaskan pada Sub Bab 3.5.

## **4.2. Analisa Tegangan**

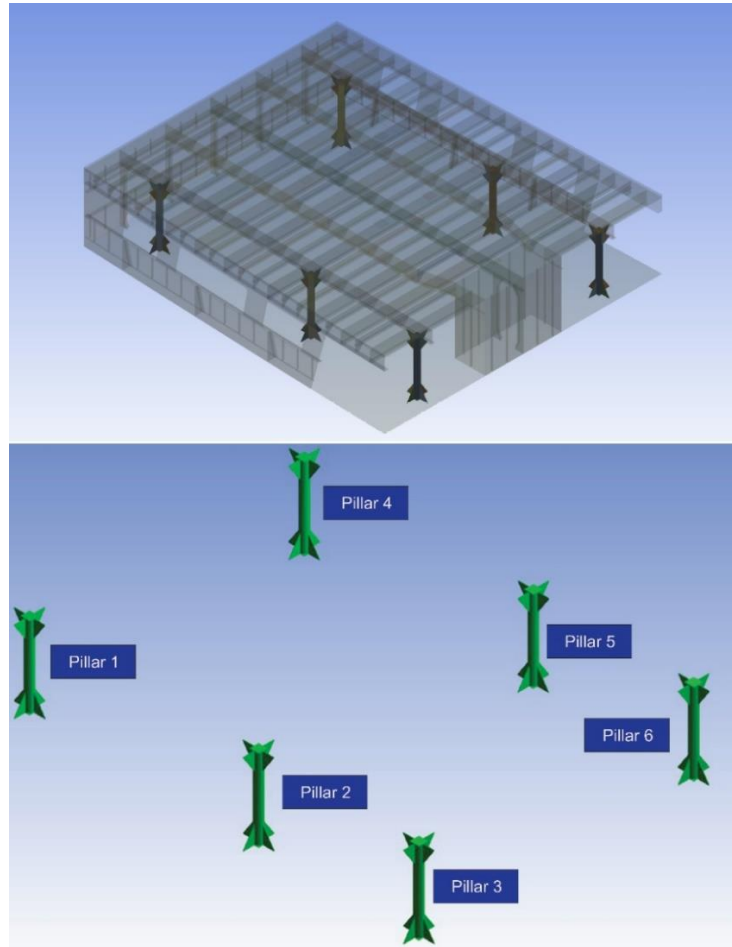
### **4.2.1. Batas Tegangan Izin Maksimum**

Berdasarkan tinjauan pustaka yang sebelumnya telah dijelaskan pada BAB 2, maka diperlukan suatu nilai tegangan maksimum yang dapat dicari melalui persamaan 2.15. Dengan diketahuinya tegangan maksimum izin, maka dapat juga diketahui batasan nilai tegangan yang akan diizinkan. Dari hasil perhitungan dengan persamaan 2.2, maka dapat diambil nilai yang akan dijadikan batas tegangan maksimal yang diizinkan adalah sebesar 175 MPa.

Hasil perhitungan dan nilai tegangan izin dijadikan sebagai acuan dalam pembatasan analisa tegangan. Jika ditemukan nilai nilai tegangan yang melebihi tegangan izin pada suatu variasi, maka variasi tersebut tidak dapat dijadikan sebagai nilai acuan untuk analisis selanjutnya.

### **4.2.2. Lokasi Tinjauan Struktur**

Variasi pembebanan seperti yang telah diuraikan sebelumnya merupakan kondisi batas yang diaplikasikan dalam analisa struktur terhadap setiap lokasi detail struktur yang ditinjau. Detail struktur yang ditinjau dalam penelitian ini adalah pilar penyangga *helideck* dimana pada lokasi tersebut terdapat salah satu titik kritis yang harus dianalisis. Pada *helideck* yang disangga dengan 6 pilar dengan konfigurasi sesuai pada Gambar 4. 3. Lokasi tinjauan struktur disesuaikan dengan jumlah pilar yang menyanggah *helideck* yaitu 6 pilar (Pilar 1 – Pilar 6) yang ditunjukkan pada Gambar 4. 3 berikut.



Gambar 4. 3 Lokasi Tinjauan Analisa Tegangan

#### 4.2.3. Analisa Tegangan pada Lokasi Tinjauan dan Titik Pendaratan

Tegangan untuk setiap variasi pembebanan diperoleh melalui analisis elemen hingga. Hasil tegangan ini digunakan untuk mengetahui lokasi kritis untuk selanjutnya dilakukan analisa perambatan retak yang terjadi pada struktur. Tegangan yang ditinjau adalah tegangan yang terjadi pada pilar penyangga *Helideck* yang tunjukkan pada Gambar 4. 3.

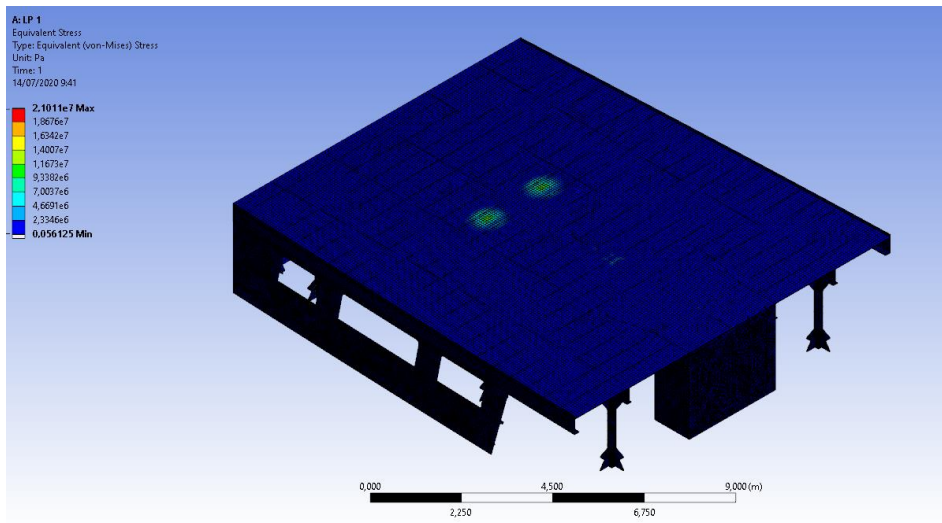
Selain variasi yang ditunjukkan pada Tabel 3.4, terdapat juga variasi arah beban yang dihasilkan dari olah gerak kapal. Variasi ini dilakukan dengan menginput beban hasil olah gerak kapal dengan besar beban yang sama dan arah beban yang berlawanan. Hasil variasi arah beban dapat dilihat pada Tabel 4. 6 untuk variasi  $135^{\circ}$ -10 pada titik pendaratan LP 1.

Tabel 4. 6 Hasil Simulasi Variasi Arah Beban (MPa)

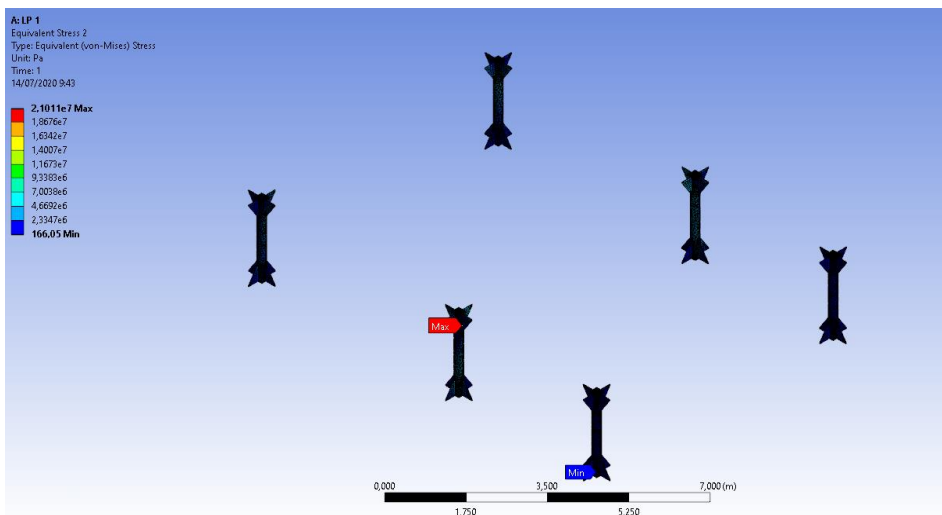
Beban (kN)		Tegangan <i>Von Mises</i> Maksimum (MPa)						
Beban Heaving	Beban Pitching	Global	Pilar 1	Pilar 2	Pilar 3	Pilar 4	Pilar 5	Pilar 6
-54,28	68,41	31,18	14,27	31,18	5,22	13,54	30,91	5,10
54,28	-68,41	25,42	3,56	15,90	1,52	3,37	15,84	1,50
54,28	68,41	25,68	2,57	15,85	2,30	2,71	15,73	2,33
54,28	-68,41	31,23	15,31	31,23	4,99	14,50	31,01	4,88

Dapat dilihat dari hasil Tabel 4. 6 bahwa arah beban gerak *heave* negatif sangat berpengaruh terhadap besar nilai tegangan. Sedangkan untuk arah beban gerak *pitch*, nilai tegangan tidak berubah secara signifikan. Untuk melanjutkan analisis, diambil nilai tegangan terbesar yaitu pada nilai beban *heave* negatif dan nilai beban *pitch* negatif dengan asumsi Kapal Patroli mendapat beban dominan dari beban tersebut.

Distribusi tegangan ditunjukkan pada Gambar 4. 4 dan Gambar 4. 5 merupakan salah satu hasil analisis sebelumnya dengan variasi sudut  $135^\circ$ , tinggi gelombang signifikan 2,25 meter, dan periode puncak sebesar 8,5 detik dengan arah beban *heave* negatif dan beban *pitch* negatif.



Gambar 4. 4 Hasil Simulasi Tegangan *Von Misses* untuk Struktur Global



Gambar 4. 5 Hasil Simulasi Tegangan *Von Misses* untuk Lokasi Tinjauan

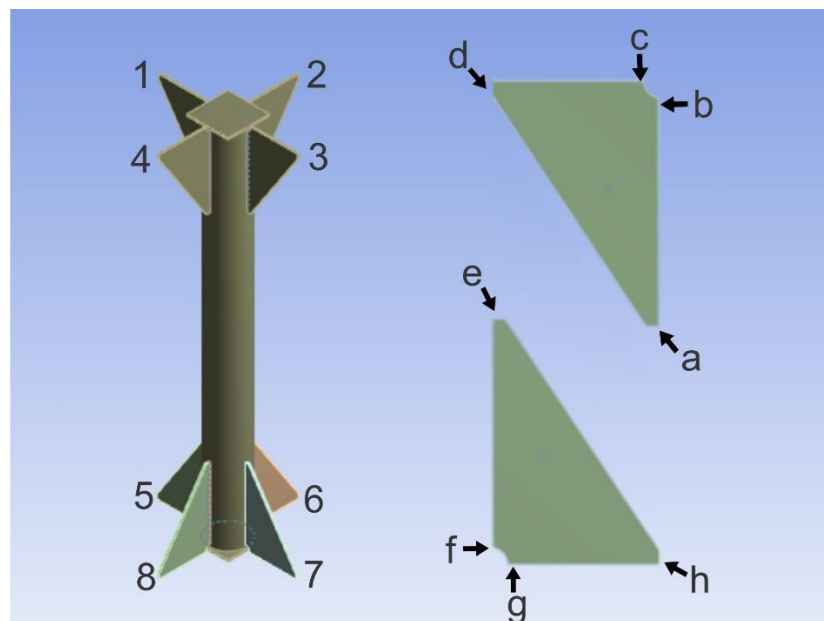
Gambar 4. 5 memperlihatkan lokasi yang memiliki tegangan maksimum yaitu pada pilar 2. Hal ini dikarenakan titik beban helikopter yang terletak pada tengah area pendaratan dan juga beban *heave* yang searah dengan percepatan gravitasi.

#### 4.3. Perhitungan Umur Kelelahan

Perhitungan umur kelelahan dilakukan menggunakan pendekatan *fracture mechanics*. Maka didapatkan hasil perhitungan umur kelelahan seperti yang jelaskan pada sub-bab ini.

##### 4.3.1. Penentuan Lokasi Kritis

Dalam melakukan analisis perambatan retak, perlu diketahui lokasi kritis dimana terjadinya perambatan retak ketika diberikan *initial crack*. Dalam penelitian ini, lokasi kritis didapatkan dengan mencari nilai  $K_I$  setelah diberikan *initial crack* sebesar 0,5 mm sesuai dengan DNV RP C203 pada beberapa titik sambungan *bracket* pada pilar 2 yang diduga terjadinya deformasi retak mode I. Titik sambungan yang diteliti pada percobaan ini dapat dilihat pada Gambar 4. 6.



Gambar 4. 6 Ilustrasi Titik Sambungan yang Ditinjau

Dalam deformasi retak mode I, perambatan retak terjadi karena adanya beban tarik pada geometri retak. Nilai *stress intensity factor* negatif terjadi dikarenakan adanya beban tekan pada geometri retak. Sehingga dalam penentuan lokasi kritis, sambungan yang memiliki nilai  $K_I$  negatif tidak dapat mewakili deformasi retak mode I. Sambungan yang ditentukan menjadi lokasi kritis pada penelitian ini adalah sambungan yang memiliki nilai  $K_I$  tertinggi. Nilai *stress intensity factor* pada lokasi kritis yang ditinjau dapat dilihat pada Tabel 4. 7.

Tabel 4. 7 Nilai SIF Pada Titik yang Ditinjau

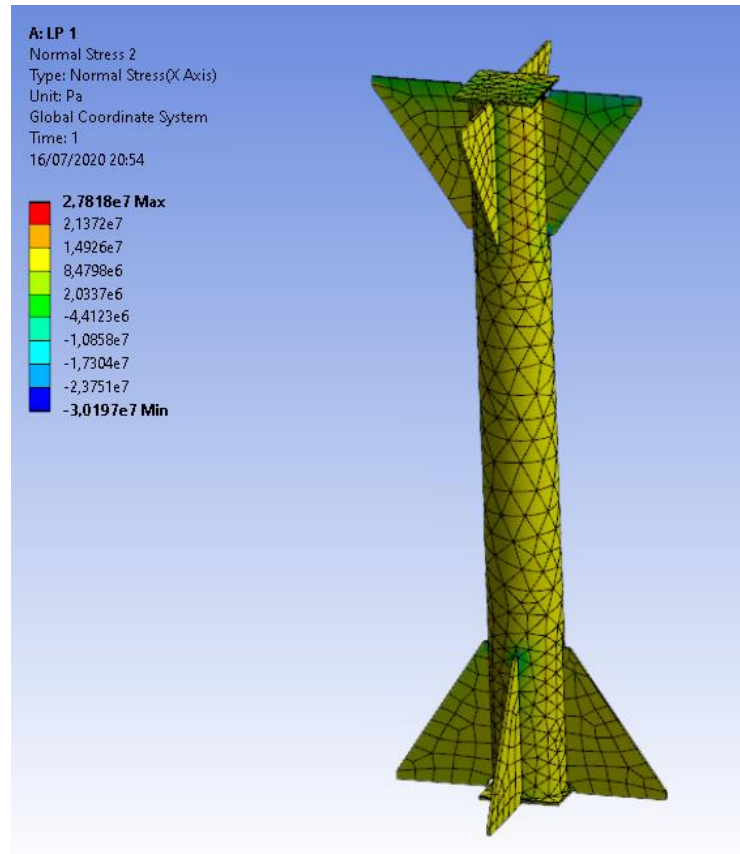
Bracket	Titik	Nilai $K_I$ (MPa $\sqrt{m}$ )	Bracket	Titik	Nilai $K_I$ (MPa $\sqrt{m}$ )
1	a	0,03	5	e	0,15
	b	-0,28		f	0,02
	c	-0,02		g	-0,15
	d	1,55		h	0,03
2	a	0,03	6	e	0,86
	b	-0,35		f	0,06
	c	1,35		g	-0,04
	d	-0,09		h	-0,17
3	a	-2,08	7	e	0,12
	b	3,38		f	0,01
	c	-0,04		g	-0,49
	d	-3,12		h	-0,66
4	a	0,24	8	e	-0,56
	b	0,75		f	0,04
	c	-0,08		g	-0,02
	d	0,19		h	-0,02

Dari hasil yang disajikan pada Tabel 4. 7, terdapat nilai *stress intensity factor* negatif dan tidak termasuk dalam deformasi retak mode I. Nilai yang diambil untuk melanjutkan analisis adalah nilai maksimum, nilai maksimum  $K_I$  yang ditemukan adalah 3,3815 MPa $\sqrt{m}$ . Nilai tersebut terjadi pada sambungan *bracket* 3 titik b. Sehingga untuk melanjutkan analisis, lokasi kritis yang digunakan untuk analisis perambatan retak didapatkan dan penelitian dapat dilanjutkan.

#### 4.3.2. Perhitungan Kedalaman Retak Kritis

Setelah didapatkan lokasi kritis dalam struktur, kedalaman retak kritis diperlukan untuk mendapat batasan kedalaman yang akan disimulasikan. Besar nilai kedalaman retak kritis didapatkan dengan menggunakan persamaan 2. 41. Nilai tegangan nominal yang digunakan dalam simulasi ini adalah tegangan normal searah sumbu X yang mengarah ke sisi kapal. Gambar 4. 7 menunjukkan hasil tegangan normal pada sumbu X yang dihasilkan dalam analisis tegangan.



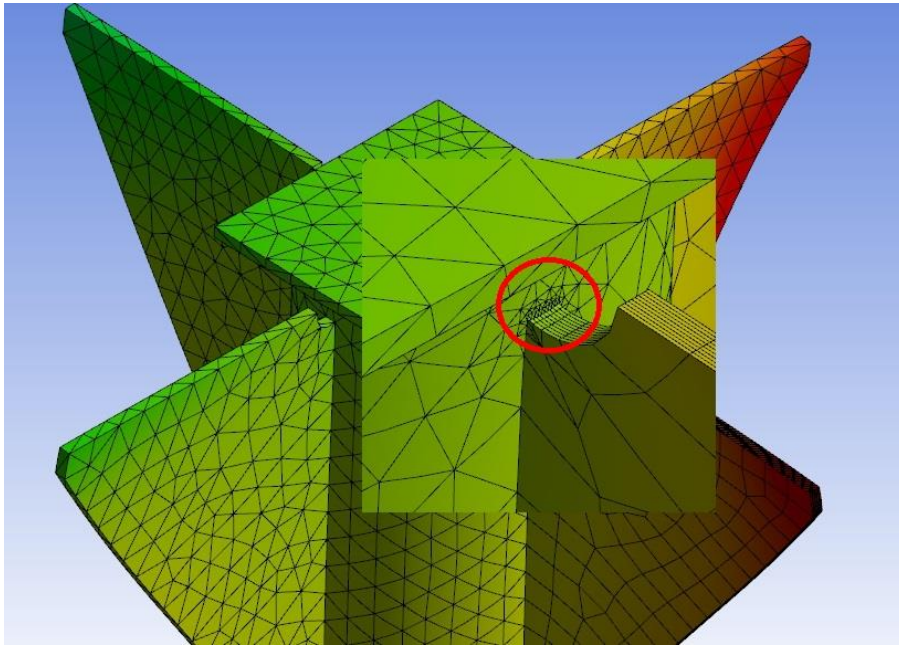


Gambar 4. 7 Tegangan Normal Pada Pilar 2

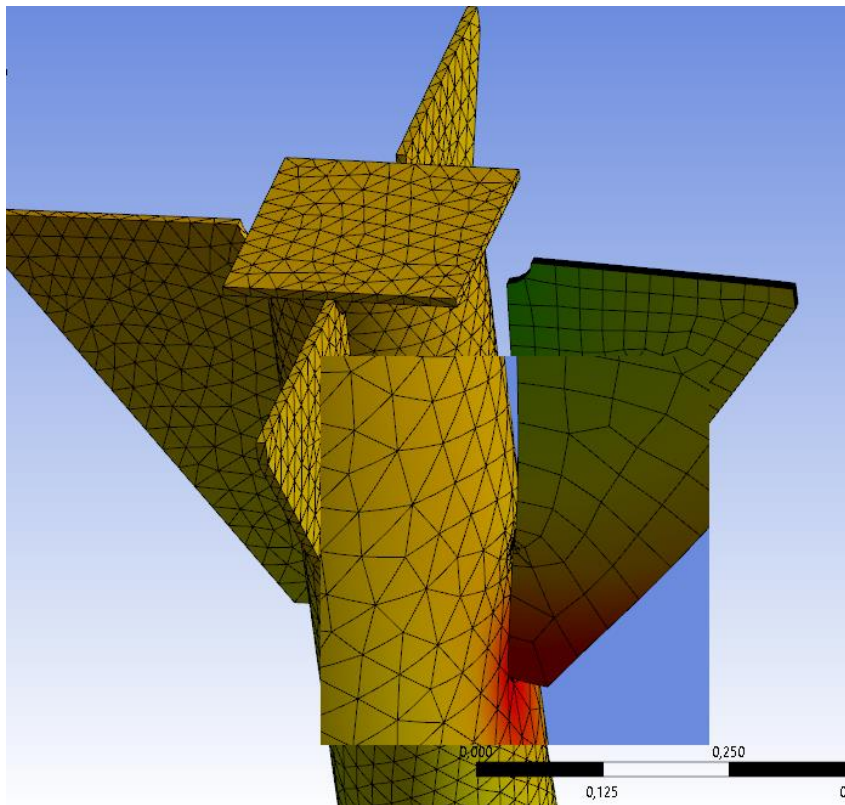
Nilai tegangan normal sebesar 27,818 MPa disubstitusikan ke persamaan 2. 41. Sehingga dalam melakukan analisis perambatan retak, nilai kedalaman retak kritis dapat dihitung dengan variabel  $K_{IC}$ ,  $C$ , dan  $m$  masing-masing seharga  $33 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ ,  $2 \times 10^{-12}$ , dan 3,46. Besar kedalaman yang didapat adalah sebesar 357,1 mm. Nilai inilah yang menjadi batasan perhitungan perambatan retak.

#### 4.3.3. Perhitungan *Stress Intensity Factor*

*Stress intensity factor* dihitung dengan menggunakan persamaan 2. 43 untuk geometri retak *through crack*. Tegangan nominal yang digunakan dalam input perhitungan SIF adalah tegangan normal maksimum pada sumbu X dengan prediksi arah perambatan retak vertikal ke bawah searah dengan sumbu vertikal dari kapal. Asumsi kedalaman *crack* awal yang digunakan berdasar dari DNV dengan kedalaman sebesar 0,5 mm. Letak dari retak awal pada struktur pilar penyangga *helideck* dapat dilihat pada Gambar 4. 8. Sedangkan untuk letak dari retak akhir pada struktur pilar penyangga *helideck* dapat dilihat pada Gambar 4. 9.



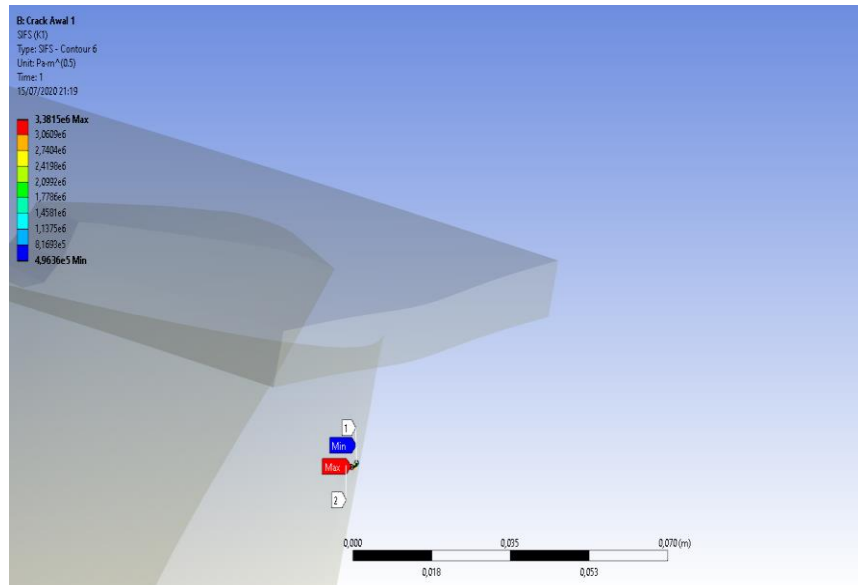
Gambar 4. 8 Lokasi Retak Awal



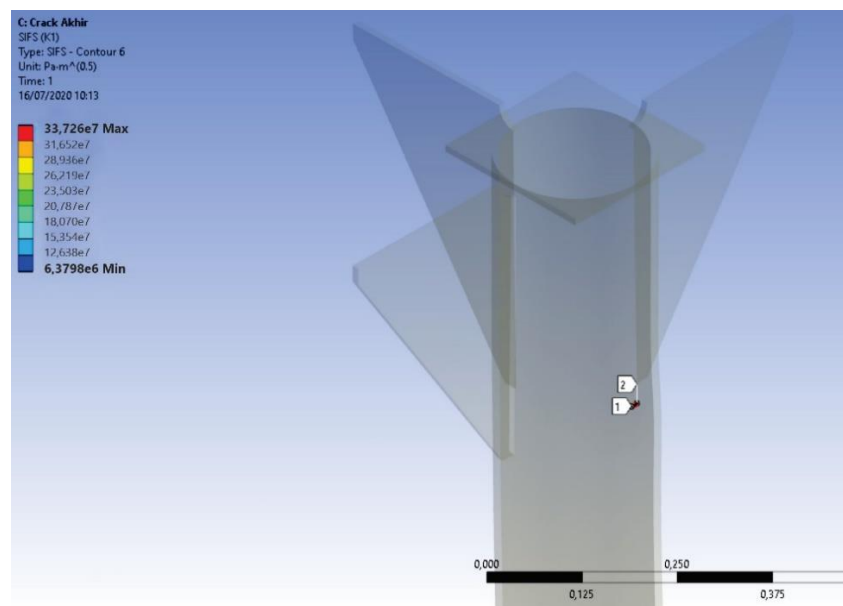
Gambar 4. 9 Lokasi Retak Akhir

Setelah dilakukan pemodelan retak, langkah selanjutnya adalah memasukkan pembebanan dan melakukan simulasi untuk mendapatkan nilai *stress intensity factor*. Nilai yang dihasilkan adalah nilai *stress intensity factor* deformasi retak mode I ( $K_I$ ) dimana mempertimbangkan beban tarik aksial dalam reaksi *opening mode* pada retak yang terjadi. Nilai

$K_I$  dihitung dengan menggunakan metode numerik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. 10 dan Gambar 4. 11 sebagai contoh *output* dalam simulasi dengan perangkat lunak *finite element method*.



Gambar 4. 10 *Output* Simulasi Retak Awal

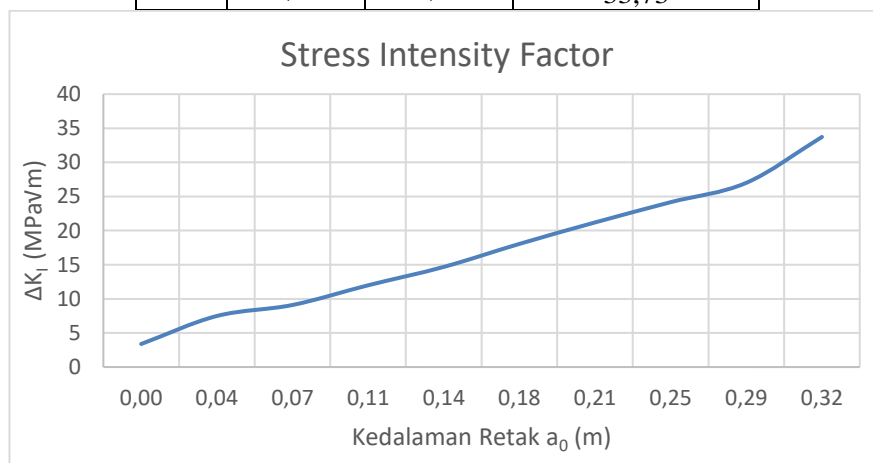


Gambar 4. 11 *Output* Simulasi Retak Akhir

Dari simulasi yang telah dijalankan dengan *software* elemen hingga, hasil simulasi dirangkum sedemikian rupa seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4. 8. *Range* dari *stress intensity factor* didapatkan dari selisih  $K_I$  maksimum dengan  $K_I$  minimum. Nilai  $K_I$  maksimum didapat dari hasil simulasi dengan perangkat lunak elemen hingga pada setiap penambahan retak dan  $K_I$  minimum sama dengan nol untuk setiap penambahan retak. Nilai nol tersebut dikarenakan tidak terjadinya pertambahan pada nilai  $K_I$  minimum.

Tabel 4. 8 Nilai *Stress Intensity Factor*

No.	$a_0$ (m)	$a_f$ (m)	$\Delta K_I$ (MPa $\sqrt{m}$ )
1	0,0005	0,04	3,38
2	0,04	0,07	7,48
3	0,07	0,11	9,09
4	0,11	0,14	11,99
5	0,14	0,18	14,68
6	0,18	0,21	18,05
7	0,21	0,25	21,19
8	0,25	0,29	24,17
9	0,29	0,32	27,00
10	0,32	0,36	33,73

Gambar 4. 12 Nilai *Stress Intensity Factor*

Gambar 4. 12 menunjukkan harga nilai *stress intensity factor* yang membesar seiring dengan pertambahan kedalaman retak. Hal ini sesuai dengan persamaan 2.33 yang menjelaskan bahwa nilai  $\Delta K_I$  berbanding lurus dengan kedalaman retak.

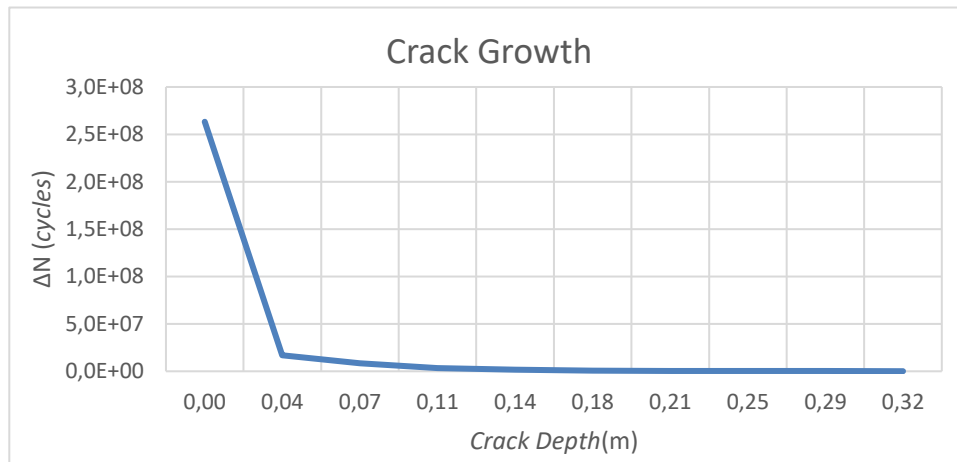
#### 4.3.4. Analisa *Crack Propagation*

Nilai laju perambatan retak dapat dicari dengan persamaan 2.42, dengan parameter material C dan m yaitu masing – masing  $2 \times 10^{-12}$  dan 3,46. Nilai  $\Delta K_I$  ditunjukkan pada Tabel 4. 8 sehingga berdasarkan persamaan 2.43 didapatkan hasil laju perambatan retak yang dapat dilihat pada Tabel 4.9 dan Gambar 4. 13.

Tabel 4.9 Laju Perambatan Retak

No.	$a_0$ (m)	$a_f$ (m)	$da$ (m)	$\Delta K_I$ (MPa $\sqrt{m}$ )	$da/dN$ (m/cycle)	$\Delta N$ (cycle)	$N_t$ (cycle)
1	0,0005	0,04	0,036	3,38	1,35E-10	2,6,E+08	2,63,E+08
2	0,04	0,07	0,036	7,48	2,11E-09	1,7,E+07	2,80,E+08
3	0,07	0,11	0,036	9,09	4,15E-09	8,6,E+06	2,89,E+08
4	0,11	0,14	0,036	11,99	1,08E-08	3,3,E+06	2,92,E+08

5	0,14	0,18	0,036	14,68	2,18E-08	1,6,E+06	2,94,E+08
6	0,18	0,21	0,036	18,05	4,45E-08	8,0,E+05	2,94,E+08
7	0,21	0,25	0,036	21,19	7,76E-08	4,6,E+05	2,95,E+08
8	0,25	0,29	0,036	24,17	1,22E-07	2,9,E+05	2,95,E+08
9	0,29	0,32	0,036	27,00	1,79E-07	2,0,E+05	2,95,E+08
10	0,32	0,36	0,036	33,73	3,87E-07	9,2,E+04	2,96,E+08



Gambar 4. 13 Kurva Perambatan Retak

Berdasarkan Gambar 4. 13 menunjukkan bahwa semakin besar kedalaman dari retak maka nilai siklus yang dibutuhkan agar retak merambat akan semakin kecil. Nilai perambatan retak berkurang dengan cepat pada tahap awal namun akan berkurang dengan stabil pada saat tahap akhir. Hal tersebut telah sesuai dengan pernyataan Hukum *Paris - Erdogan* bahwa pertambahan siklus yang dibutuhkan agar retak merambat berbanding lurus dengan pertambahan panjang retak.

#### 4.3.5. Umur Kelelahan

Setelah diperoleh nilai total siklus ( $N_t$ ) sesuai dengan Tabel 4.9 selanjutnya dilakukan perhitungan umur kelelahan. Umur kelelahan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

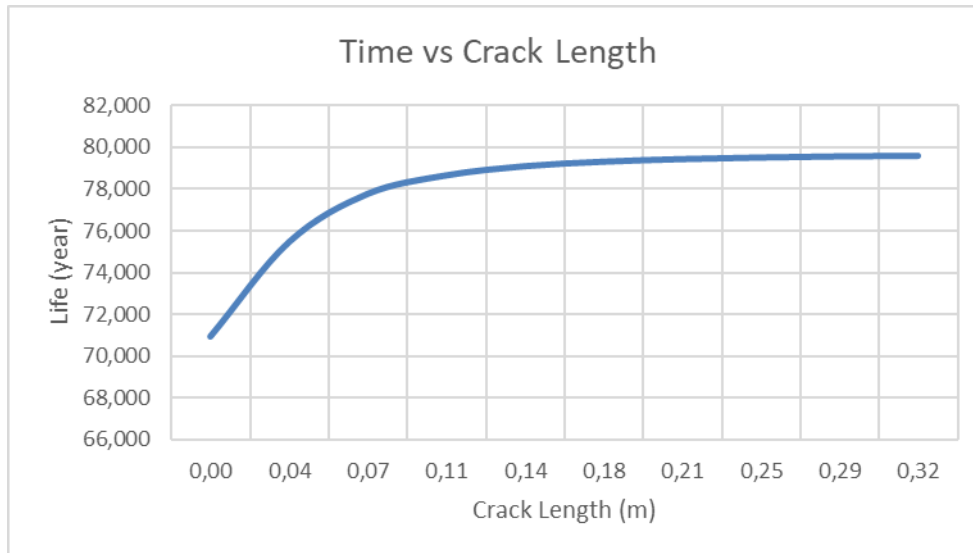
$$F = N_t \times T$$

Dimana  $N_t$  adalah nilai total siklus gelombang dan  $T$  adalah periode gelombang dengan nilai yang digunakan adalah 8,5 s. Dengan persamaan berikut didapatkan total umur kelelahan pilar penyangga *helideck* adalah 79 tahun. Tabel 4. 10 menunjukkan pengaruh perambatan retak terhadap umur kelelahan.

Tabel 4. 10 Umur Kelelahan Setiap Tahap Perambatan Retak

No.	$a_0$ (m)	$a_f$ (m)	F	Tahun
1	0,0005	0,04	2,2,E+09	70,92
2	0,04	0,07	2,4,E+09	75,46
3	0,07	0,11	2,5,E+09	77,77

4	0,11	0,14	2,5,E+09	78,66
5	0,14	0,18	2,5,E+09	79,10
6	0,18	0,21	2,5,E+09	79,32
7	0,21	0,25	2,5,E+09	79,44
8	0,25	0,29	2,5,E+09	79,52
9	0,29	0,32	2,5,E+09	79,58
10	0,32	0,36	2,5,E+09	79,60

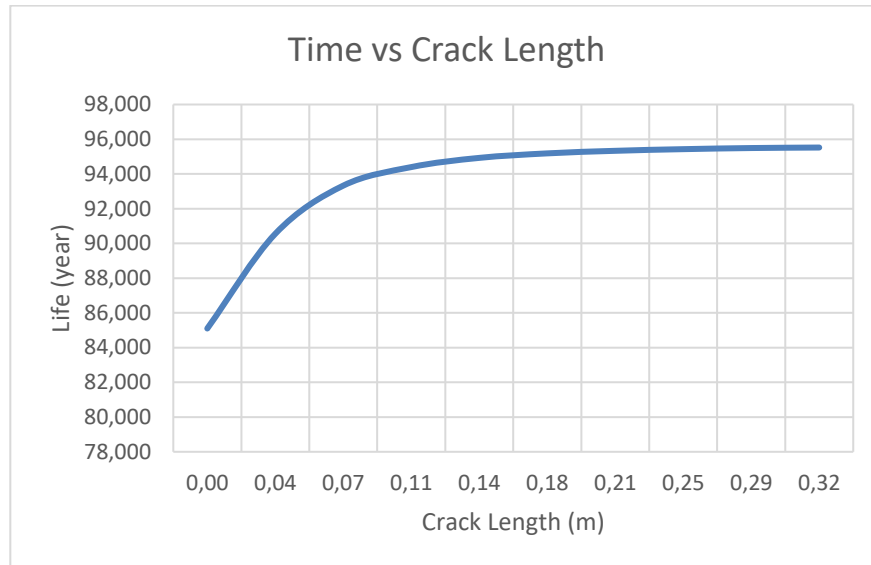


Gambar 4. 14 Grafik Hubungan Umur Kelelahan dengan Kedalaman Retak

Tabel 4. 10 dan Gambar 4. 14 menunjukkan hasil perhitungan umur kelelahan dengan asumsi kapal beroperasi tanpa henti. Dalam kenyataannya, kapal tidak beroperasi terus menerus. Untuk mendapatkan hasil yang mendekati kenyataannya dilakukan asumsi dengan operasional kapal sebesar 80% dari asumsi sebelumnya. Dengan dilakukannya asumsi tersebut, umur kelelahan Kapal Patroli Lepas Pantai dapat dilihat pada Tabel 4. 11 dan Gambar 4. 15.

Tabel 4. 11 Umur Kelelahan Setiap Tahap Perambatan Retak Operasional 80%

No.	$a_0$ (m)	$a_f$ (m)	F	Tahun
1	0,0005	0,04	2,2,E+09	85,10
2	0,04	0,07	2,4,E+09	90,55
3	0,07	0,11	2,5,E+09	93,33
4	0,11	0,14	2,5,E+09	94,40
5	0,14	0,18	2,5,E+09	94,93
6	0,18	0,21	2,5,E+09	95,18
7	0,21	0,25	2,5,E+09	95,33
8	0,25	0,29	2,5,E+09	95,43
9	0,29	0,32	2,5,E+09	95,49
10	0,32	0,36	2,5,E+09	95,52



Gambar 4. 15 Grafik Hubungan Umur Kelelahan dengan Kedalaman Retak Operasional 80%

Dengan dilakukannya asumsi operasional Kapal Patroli Lepas Pantai sebesar 80%, hasil yang dapat dilihat pada Tabel 4. 11 dan Gambar 4. 15 menunjukkan bahwa retak mulai merambat dengan laju perambatan yang relatif tinggi ketika umur kelelahan dari struktur *helideck* mencapai 85 tahun.





## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

Setelah dilakukan analisis dan pembahasan mengenai umur kelelahan pada pilar penyangga *helideck* pada Kapal Patroli Lepas Pantai maka kesimpulan dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Dengan adanya pembebanan dari olah gerak kapal, tegangan maksimum dari struktur yang ditinjau terdapat pada Pilar 2 dengan variasi sudut hadap  $135^\circ$  dan posisi helikopter tepat ditengah zona landas *helideck*. Nilai maksimum yang terjadi pada pilar penyangga *helideck* adalah sebesar 31,23 MPa dan nilai tersebut tidak melebihi tegangan izin yang telah ditentukan.
2. Umur kelelahan pilar penyangga *helideck* Kapal Patroli Lepas Pantai dianalisis menggunakan pendekatan *fracture mechanics* pada Pilar 2 memiliki umur kelelahan selama 96 tahun dengan beban operasional kapal sebesar 80%.

#### **5.2. Saran**

Untuk tujuan perbaikan dan pengembangan pada penelitian selanjutnya, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan namun belum dijadikan pertimbangan dalam penelitian ini yaitu adalah sebagai berikut:

1. Variasi kondisi muatan menjadi 2 yaitu kondisi muatan kosong (*full ballast*) dan *intermediate load*.
2. Beban ditambahkan *hull girder bending moment*.
3. Metode analisis umur kelelahan menggunakan metode *simplified fatigue assessment* dan metode *spectral*.
4. Mode retak yang digunakan dalam analisis umur kelelahan dengan metode *fracture mechanics* ditambah mode retak II dan mode III.

Halaman ini sengaja dikosongkan

## DAFTAR PUSTAKA

- A. Salvadori, A. C. (2011). *Minimum Theorems in Incremental Linear Elastic Fracture Mechanics*. . International Journal of Solids and Structures.
- Almarnaess, A. (1985). *Fatigue Handbook: Offshore Steel Structure*. Tapir Academic Press; 3rd Revised edition edition.
- Bai, Y. (2003). *Marine Structure Design*. Oxford: Elsevier.
- Bhattacharyya, R. (1978). *Dynamics of Marine Vehicle*. New York: John Wiley & Sons Inc.
- BKI. (2017). *Rules for Hull*. Jakarta: Biro Klasifikasi Indonesia.
- BKI. (2018). *Rules for The Classification and Construction of Sea Going Steel Ship Volume II: Rules for Hull*. Jakarta: Biro Klasifikasi Indonesia.
- Blakogevic, B. & Domazet, Z. (2010). *Simplified Procedures for Fatigue Assessment of Ship Structures*. Split: University of Split.
- Caesario, A. (2019). *Optimasi Konstruksi Pilar Penyangga Helideck Kp Yudistira 73 Meter*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Det Norske Veritas. (2008). *Offshore Standard: Helicopter Decks*. Høvik: Det Norske Veritas.
- Det Norske Veritas. (2010). *DNV-RP-C206: Fatigue Methodology of Offshore Ships*.
- Det Norske Veritas. (2012). *DNV-OS-C102: Structural Design of Offshore Ships*.
- Djarmiko, E. B. (2003). *Analisis Kelelahan Struktur Bangunan Laut*. Surabaya: Kursus Singkat Offshore Structure Design And Modelling.
- Dwiki, T. (2019). *Analisis Umur Kelelahan Sambungan Bracket Topside Module Fpso Menggunakan Fracture Mechanics*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Hoque, K. N. (2016). *Analysis of Structural Discontinues in Ship Hull Using Finite Element Methods*. Dhaka: Bangladesh University of Engineering And Technology.
- IACS. (2010). *Common Structural Rules for Double Hull Oil Tanker*. London: IACS Council.
- International Maritime Organization (IMO). (Consolidated Edition 2009). *International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974, as amended (SOLAS 1974)*. London: IMO Publishing.
- Jeom Kee Paik, A. K. (2007). *Ship-Shaped Offshore Installation*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Joonmo Choung, K.-Y. Y. (2008). *Fully Stochastic Fatigue Analysis For FPSO Based On Shipyard Practices*. International Journal of Offshore and Polar Engineering.
- Kementerian Perhubungan. (2015). *Standar Teknis dan Operasi Peraturan Keselamatan Penerbangan Sipil – Bagian 139 (Manual of Standard CASR – Part 139) Volume II Tempat Pendaratan Dan Lepas Landas Helikopter (Heliports)*. Jakarta: Kementerian Perhubungan.
- Kurniawati, H.A. (2009). Lecture Handout. *Ship Outfitting*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).
- Logan, D. L. (2007). *A First Course in the Finite Element Method Fourth Edition*. Toronto, Canada: University of Wisconsin–Platteville.
- Santosa, B. (2013). *Diktat Kekuatan Kapal*. Suarabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Shi, S. (2014). *Evaluating the Structural Integrity of High Strength Low Alloy Steels Considered for Shipbuilding Using Acoustic Emission*. Birmingham: University of Birmingham.
- Suranto. (2004). *Manajemen Operasional Angkutan Laut dan Kepelabuhan serta*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka.

- UCSD. (2012). *Wave Measurement. Retrieved May 21*. Retrieved May 21, 2018, from Coastal Engineering Manual: web site: <http://cdip.ucsd.edu>.
- Wægter, J. (2009). *Fatigue Design Based on S-N Data*.
- Widodo, M. T. (2010). *Keandalan Scantling Struktur Geladak dan Dasar Pada Konversi Tanker Menjadi FPSO Terhadap Beban Kelelahan*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

## LAMPIRAN

Lampiran A Rencana Garis Kapal Patroli Lepas Pantai  
Lampiran B Rencana Umum Kapal Patroli Lepas Pantai  
Lampiran C *Construction Profile* Kapal Patroli Lepas Pantai  
Lampiran D *After Construction* Kapal Patroli Lepas Pantai  
Lampiran E *Helideck Construction* Kapal Patroli Lepas Pantai  
Lampiran F Perhitungan Analisis Hidrodinamis  
Lampiran G Perhitungan Pembebanan  
Lampiran H Perhitungan *Stress Intensity Factor* dan Umur Kelelahan  
Lampiran I Katalog Baja ASTM 131 AH36  
Lampiran J Katalog Helikopter Dauphin AS 365 N3

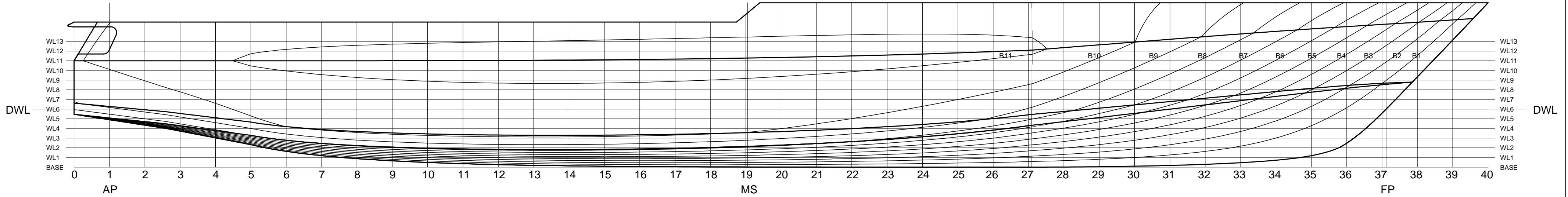


**LAMPIRAN A**  
**RENCANA GARIS KAPAL PATROLI LEPAS PANTAI**

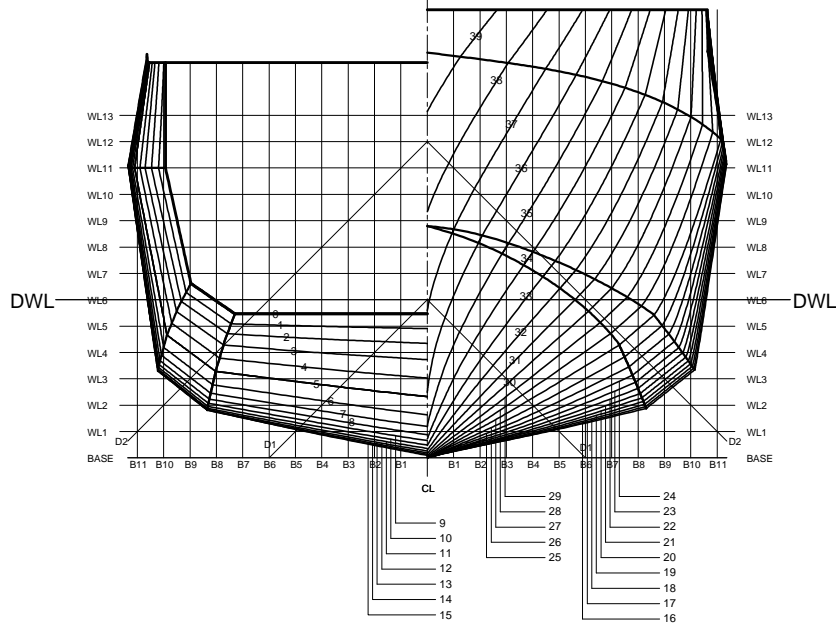




# SHEER PLAN



# BODY PLAN



PRINCIPLE DIMENSION	
LOA	: 73.00 meter
LWL	: 67.73 meter
LPP	: 65.93 meter
B (mld)	: 11.35 meter
H (mld)	: 5.25 meter
T (draught)	: 3.00 meter
Speed (max) 85% Load	: 18 Knots
Main Engine	: CAT 2x3400 HP

# HALF-BREADTH PLAN

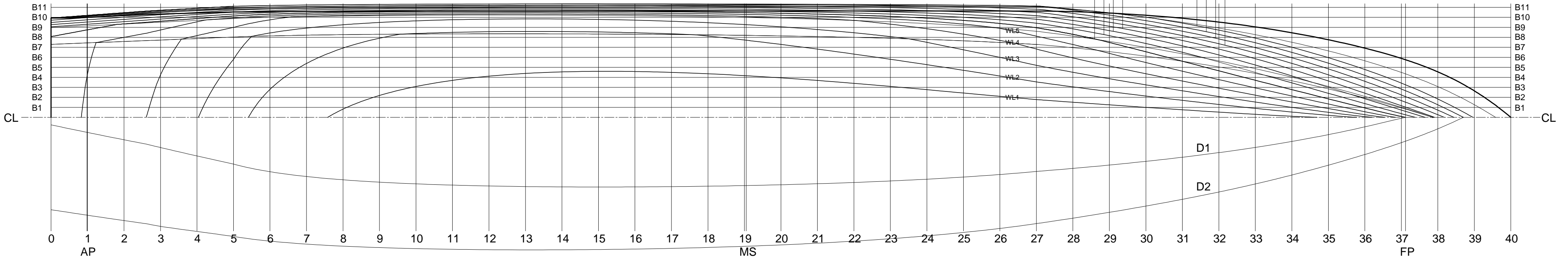


TABLE ORDNATE OF HALF BREADTH (MM)																																										
ST	0	AP1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37FP	38	39	40	
WL 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
WL 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
WL 3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
WL 4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
WL 5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
WL 6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
WL 7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
WL 8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
WL 9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
WL 10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
WL 11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
WL 12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
WL 13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

TABLE ORDNATE OF HALF BREADTH (MM)																																													
BL	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37FP	38	39	40				
BL 0	2731	2452	2171	1883	1594	1304	1014	724	434	144	-246	-536	-826	-1116	-1406	-1696	-1986	-2276	-2566	-2856	-3146	-3436	-3726	-4016	-4306	-4596	-4886	-5176	-5466	-5756	-6046	-6336	-6626	-6916	-7206	-7496	-7786	-8076	-8366	-8656	-8946				
BL 1	2730	2466	2200	1935	1670	1404	1139	874	609	344	78	-178	-324	-470	-616	-762	-908	-1054	-1200	-1346	-1492	-1638	-1784	-1930	-2076	-2222	-2368	-2514	-2660	-2806	-2952	-3098	-3244	-3390	-3536	-3682	-3828	-3974	-4120	-4266	-4412	-4558			
BL 2	2737	2477	2230	1983	1736	1489	1241	994	747	500	253	0	-243	-486	-729	-972	-1215	-1458	-1701	-1944	-2187	-2430	-2673	-2916	-3159	-3402	-3645	-3888	-4131	-4374	-4617	-4860	-5103	-5346	-5589	-5832	-6075	-6318	-6561	-6804	-7047	-7290	-7533		
BL 3	2749	2487	2240	1993	1746	1499	1252	1005	758	511	264	0	-247	-490	-733	-976	-1219	-1462	-1705	-1948	-2191	-2434	-2677	-2920	-3163	-3406	-3649	-3892	-4135	-4378	-4621	-4864	-5107	-5350	-5593	-5836	-6079	-6322	-6565	-6808	-7051	-7294	-7537		
BL 4	2760	2499	2262	2004	1756	1509	1261	1014	767	520	273	0	-252	-495	-738	-981	-1224	-1467	-1710	-1953	-2196	-2439	-2682	-2925	-3168	-3411	-3654	-3897	-4140	-4383	-4626	-4869	-5112	-5355	-5598	-5841	-6084	-6327	-6570	-6813	-7056	-7299	-7542		
BL 5	2775	2512	2284	2014	1766	1518	1270	1022	774	526	278	0	-257	-500	-743	-986	-1229	-1472	-1715	-1958	-2201	-2444	-2687	-2930	-3173	-3416	-3659	-3902	-4145	-4388	-4631	-4874	-5117	-5360	-5603	-5846	-6089	-6332	-6575	-6818	-7061	-7304	-7547		
BL 6	2790	2526	2318	2038	1790	1542	1294	1046	796	546	298	0	-262	-505	-748	-991	-1234	-1477	-1720	-1963	-2206	-2449	-2692	-2935	-3178	-3421	-3664	-3907	-4150	-4393	-4636	-4879	-5122	-5365	-5608	-5851	-6094	-6337	-6580	-6823	-7066	-7309	-7552		
BL 7	2800	2540	2342	2062	1814	1566	1318	1070	816	568	300	0	-267	-510	-753	-996	-1239	-1482	-1725	-1968	-2211	-2454	-2697	-2940	-3183	-3426	-3669	-3912	-4155	-4398	-4641	-4884	-5127	-5370	-5613	-5856	-6099	-6342	-6585	-6828	-7071	-7314	-7557		
BL 8	3350	2935	2538	2266	1994	1722	1450	1178	906	634	362	9	-272	-515	-758	-1001	-1244	-1487	-1730	-1973	-2216	-2459	-2702	-2945	-3188	-3431	-3674	-3917	-4160	-4403	-4646	-4889	-5132	-5375	-5618	-5861	-6104	-6347	-6590	-6833	-7076	-7319	-7562		
BL 9		3127	2620	2291	2026	1760	1494	1228	962	696	430	169	-116	-359	-602	-845	-1088	-1331	-1574	-1817	-2060	-2303	-2546	-2789	-3032	-3275	-3518	-3761	-4004	-4247	-4490	-4733	-4976	-5219	-5462	-5705	-5948	-6191	-6434	-6677	-6920	-7163	-7406		
BL 10			4254	3911	3551	3190	2587	2123	1631	1104	611	164	162	157	153	150	143	136	129	122	115	108	101	94	87	80	73	66	59	52	45	38	31	24	17	10	3	-4	-11	-18	-25	-32			
BL 11							4341	4141	3949	3756	3563	3369	3176	2982	2788	2594	2399	2205	2011	1817	1622	1428	1234	1039	845	651	457	263	69	-107	-293	-479	-655	-831	-1007	-1183	-1358	-1534	-1710	-1886	-2062	-2238	-2414	-2590	-2766

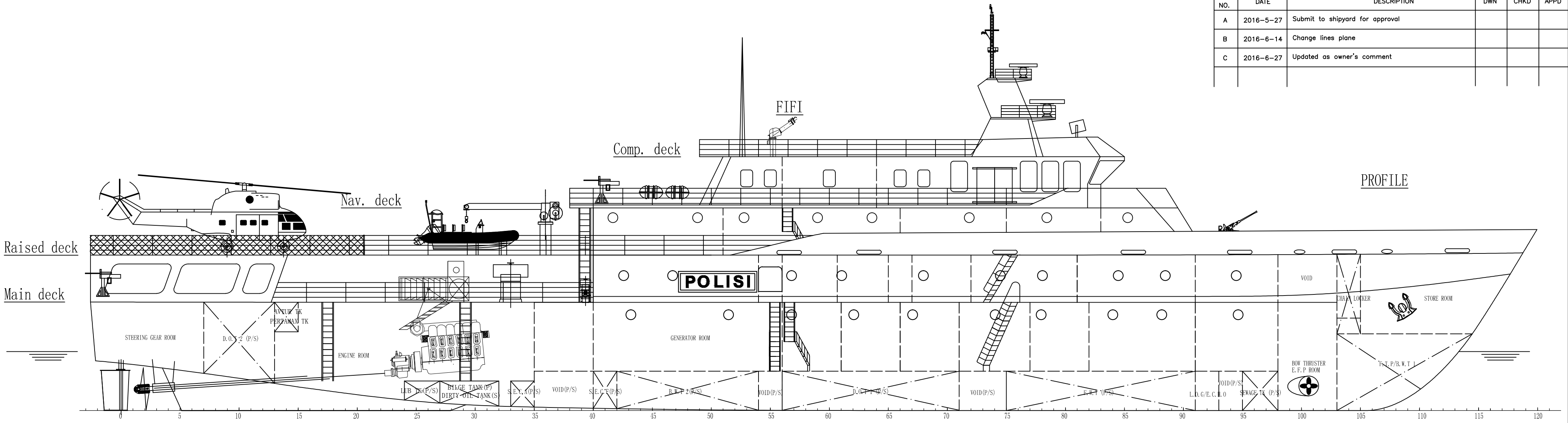
YEAR : 2016		PROJECT NAME		PROJECT NO :	
		KAPAL POLISI 73 METER		190	
DRAWN BY AS		DRAWING/DOCUMENT NAME		OWNER : DITPOLAIRUD	
DESIGNED BY AG		LINES PLAN (STATION)		CLASS : BKI	
CHECKED BY				DESIGNER : PT. RBPN	
APPROVED BY				SCALE : -	
PROJECTION SYMBOL		ALL RIGHTS RESERVED ARE PROPERTY OF RBPN JAKARTA INDONESIA		SIZE : A2	
		PT. DAYA RADAR UTAMA Head Office Jl. L.R.E. Martadinata, Volker Tonjung Priok, JAKARTA 14310 Phone : (62-21) 4303180 Fax : (62-21) 4308891		SHEET : 1 OF 1	
				DRW/DOCUMENT NO : G.0202	
				REV : 1 2 3	



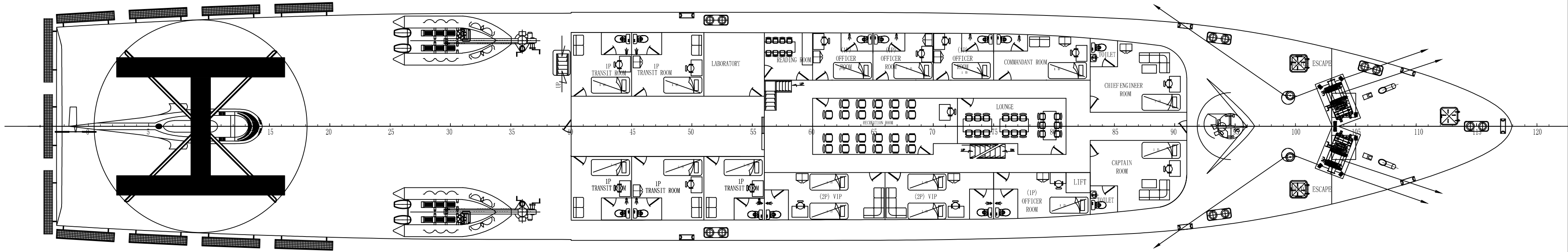
**LAMPIRAN B**  
**RENCANA UMUM KAPAL PATROLI LEPAS PANTAI**



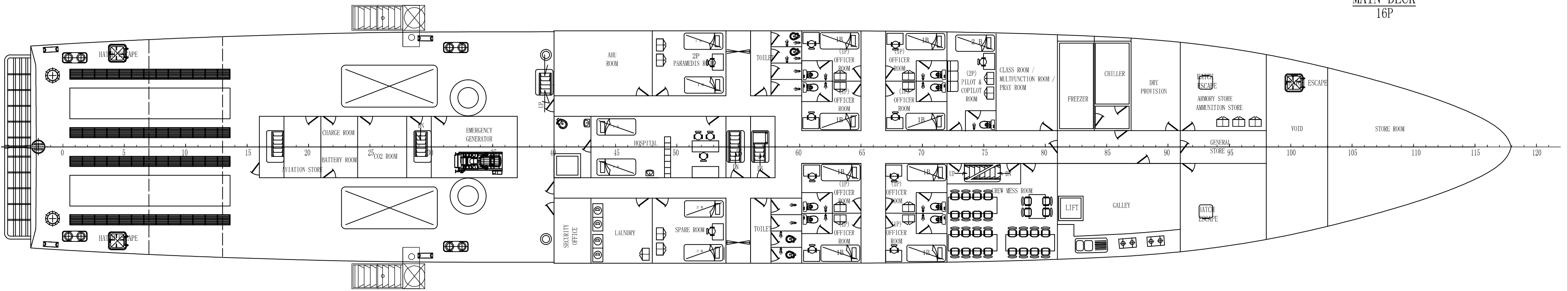
B I B L I O G R A P H Y					
REV. NO.	DATE	DESCRIPTION	DWN	CHKD	APPD
A	2016-5-27	Submit to shipyard for approval			
B	2016-6-14	Change lines plane			
C	2016-6-27	Updated as owner's comment			



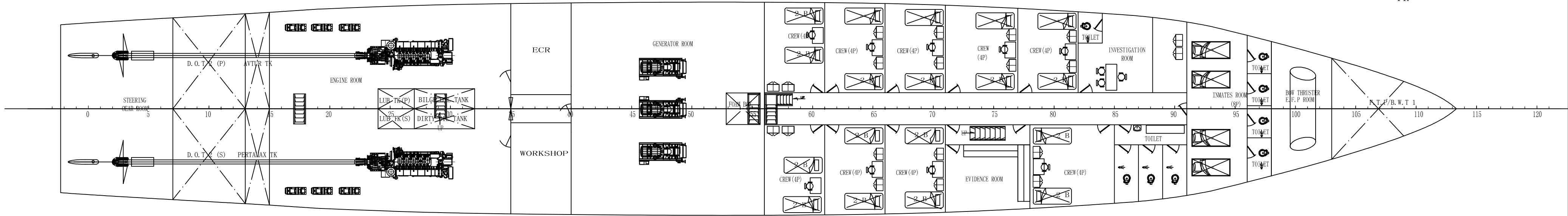
RAISED DECK  
22P



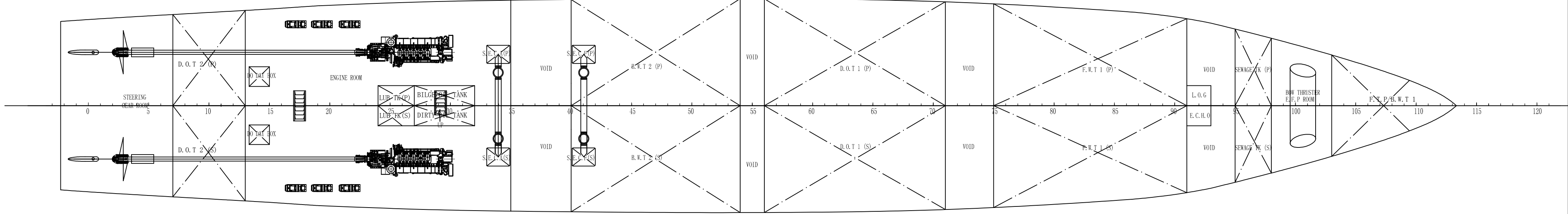
MAIN DECK  
16P



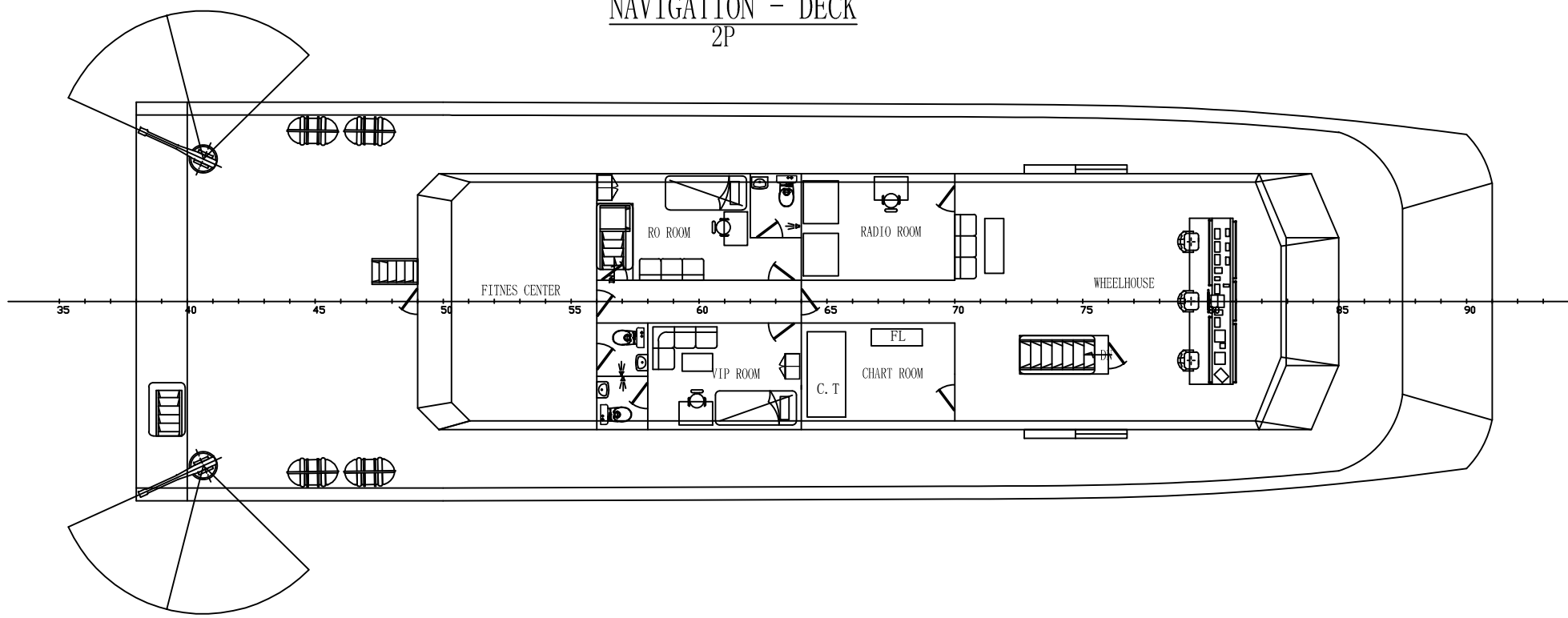
DOUBLE BOTTOM  
44P



BOTTOM



NAVIGATION - DECK  
2P



PRINCIPAL PARTICULARS

LENGTH O.A.	73.00 M
LENGTH B.P.	68.00 M
BREADTH MOULDED	11.35 M
DEPTH MOULDED	5.50 M
DESIGN DRAFT	3.00 M
MAX SPEED	18 Kn
DISPLACEMENT	+1200 Ton

THIS DRAWING OR DOCUMENT IS THE PROPERTY OF THE NANJING SHIPTON MARINE DESIGN CO., LTD AND MUST NOT BE PARTIALLY OR WHOLLY COPIED OR USED FOR ANY OTHER PURPOSE WITHOUT PRIOR WRITTEN PERMISSION OF NANJING SHIPTON MARINE DESIGN CO., LTD					
HULL NO.	PROJECT 73 meters maritime patrol ships				
APPD BY	TITLE GENERAL ARRANGEMENT				
CHKD BY					
DWN. BY	CLASS	DATE	31. May, 2016	SHEET 1 OF 1	
STAN. BY	DWG. NO.	SMD1628-100-1	SCALE	1:125	REV. NO. C
OWNER					
BUILDER PT. Daya Radar Utama					
南京西普德船舶设计有限公司 NANJING SHIPTON MARINE DESIGN CO., LTD (SMD) TEL:+86-25-58883510 E-mail:biz@shipton.cn					

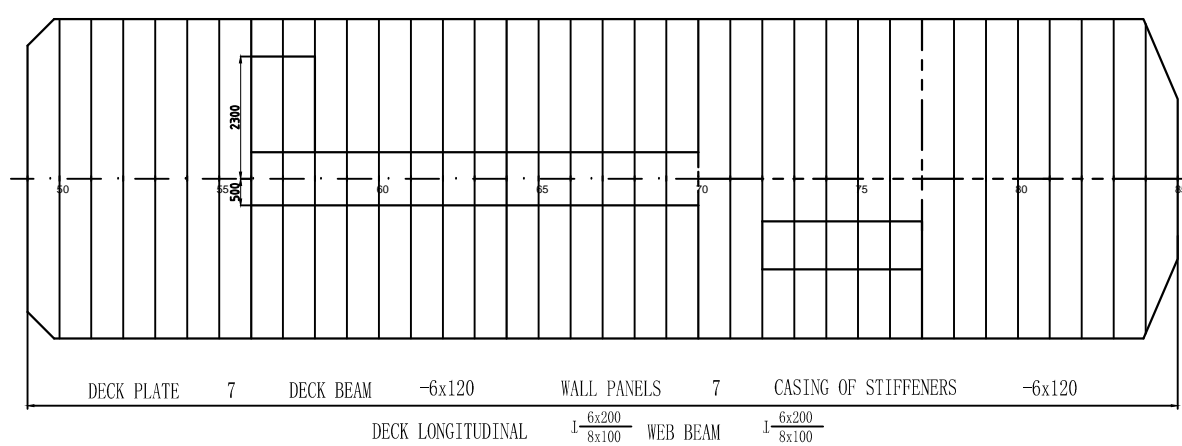
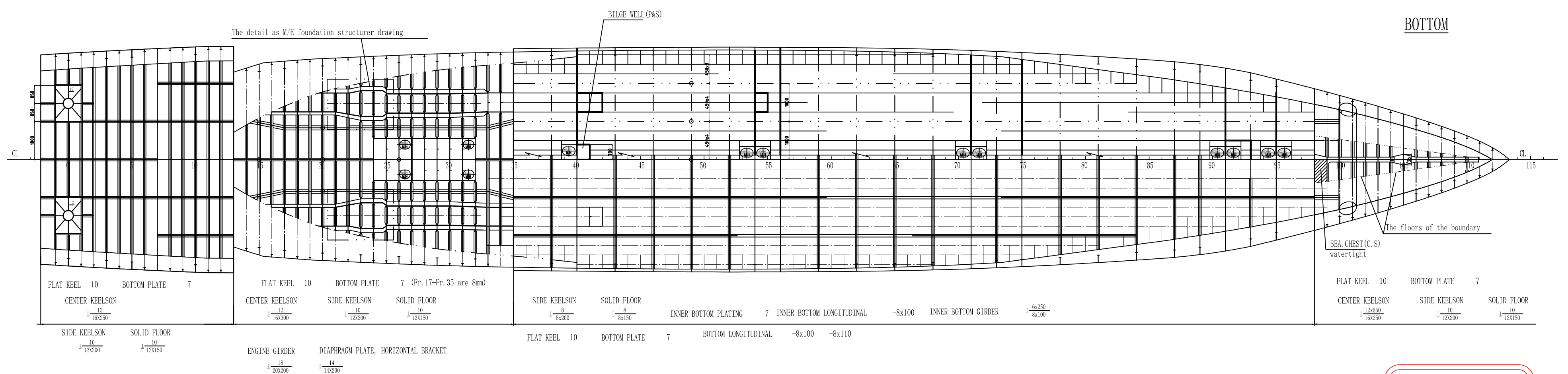
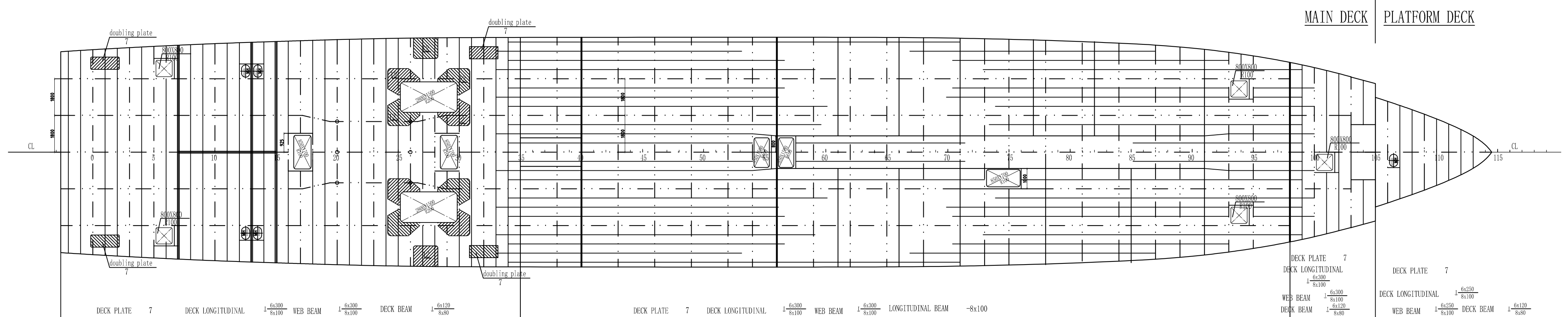
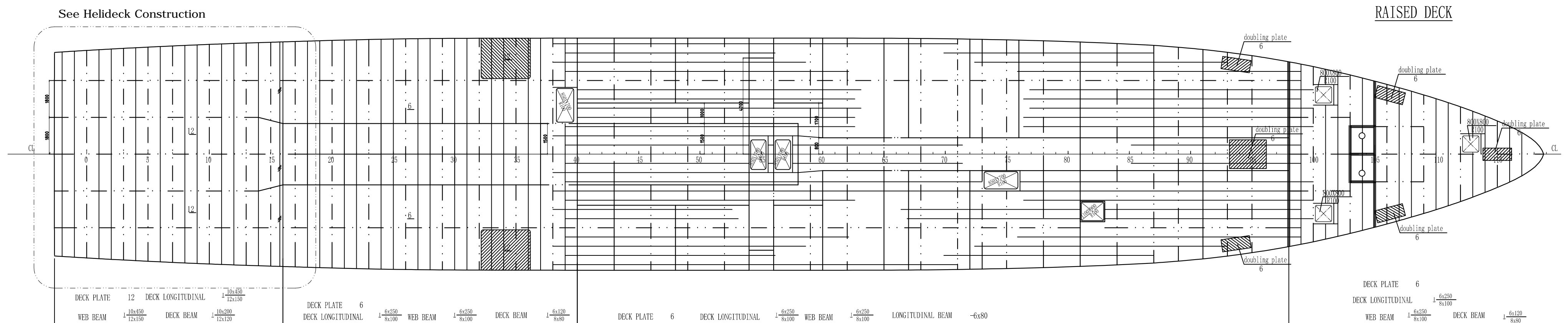
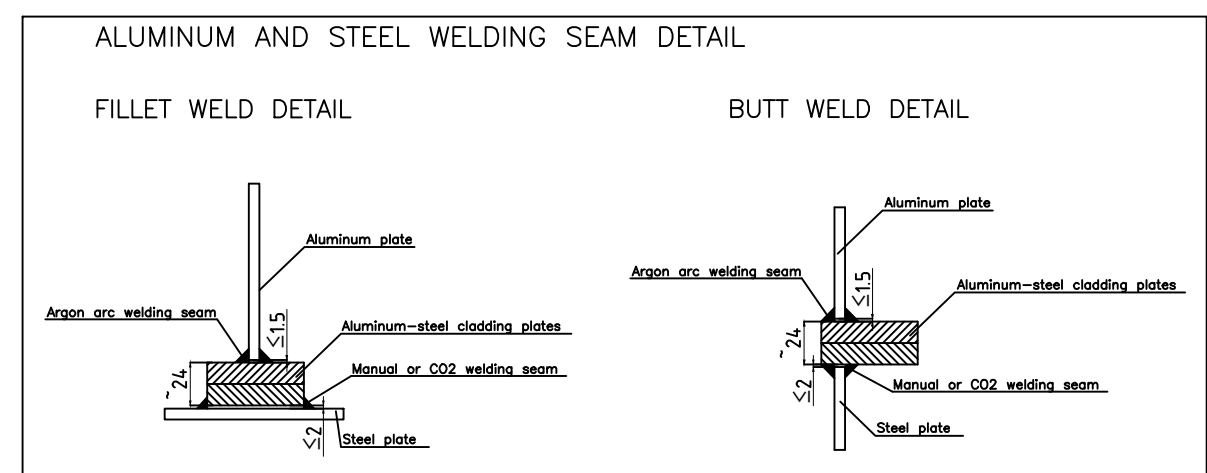
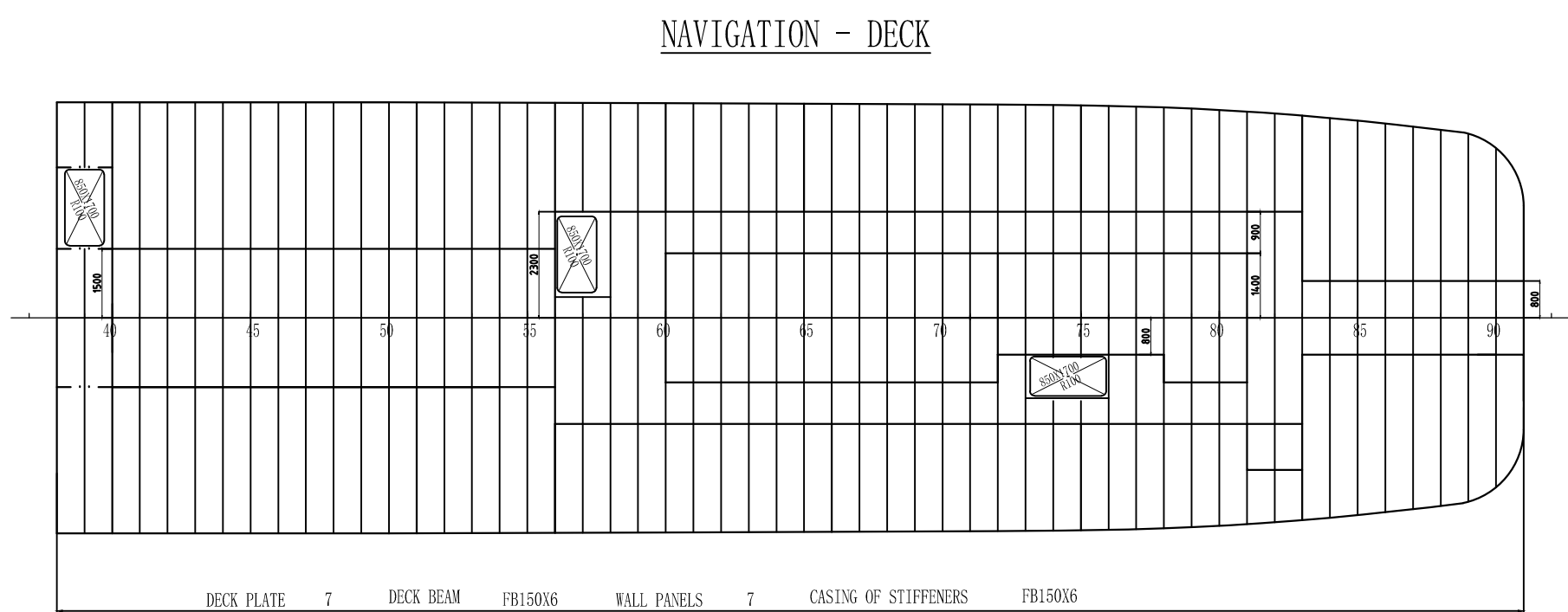
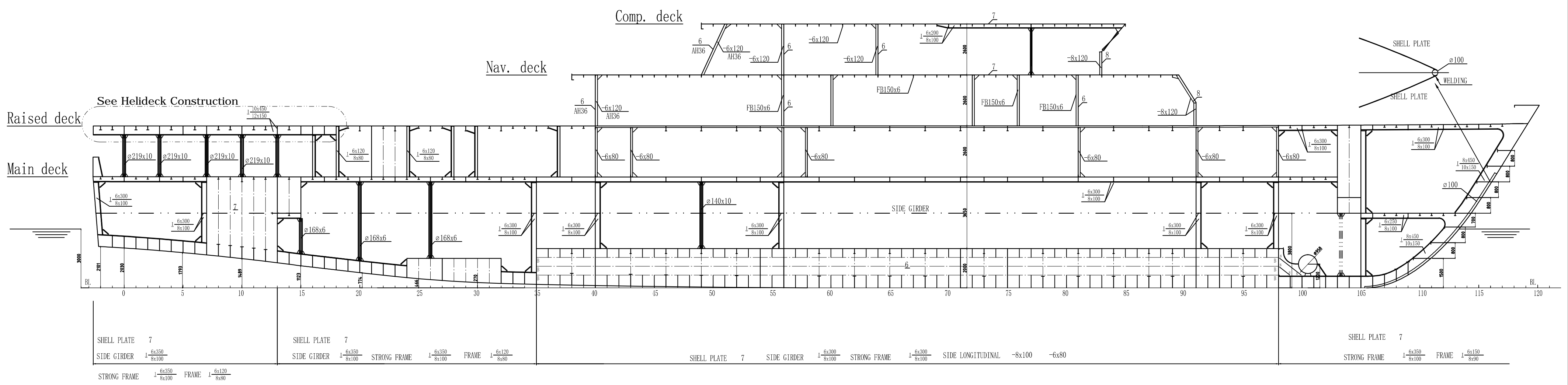


**LAMPIRAN C**  
**CONSTRUCTION PROFILE KAPAL PATROLI LEPAS**  
**PANTAI**





REV. NO.	DATE	DESCRIPTION	DWN	CHKD	APPD
	2018-7-01	FINISH PLAN	JSK	JVD	IDR

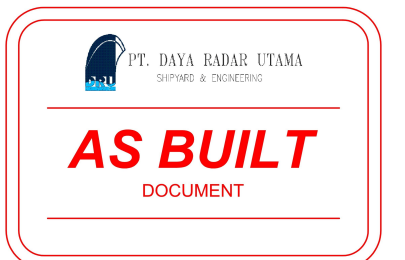


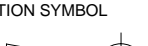

### PRINCIPAL PARTICULARS

LENGTH O.A	73.67 M
LENGTH B.P	68.00 M
BREADTH MOULDED	11.35 M
DEPTH MOULDED	5.50 M
DESIGN DRAFT	3.00 M

Noted:

1. The hull structure (below raised deck and including raised deck, bulwark) material is use AH36
2. The accommodation structure (upper raised deck) is use Aluminum alloy
3. Aluminum plate alloy (AL) 5086 H116  
Aluminum profile alloy (AL) 6082 T6

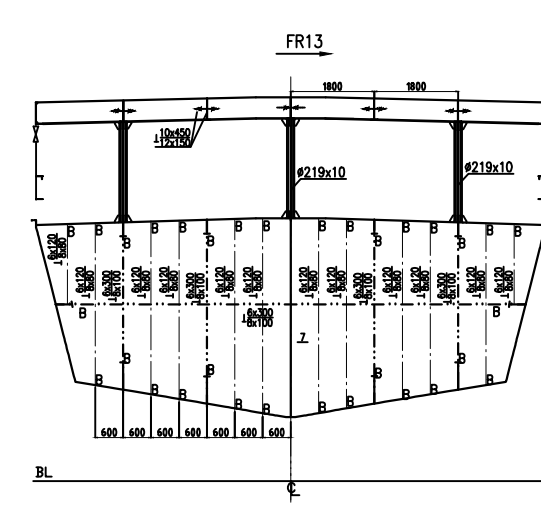
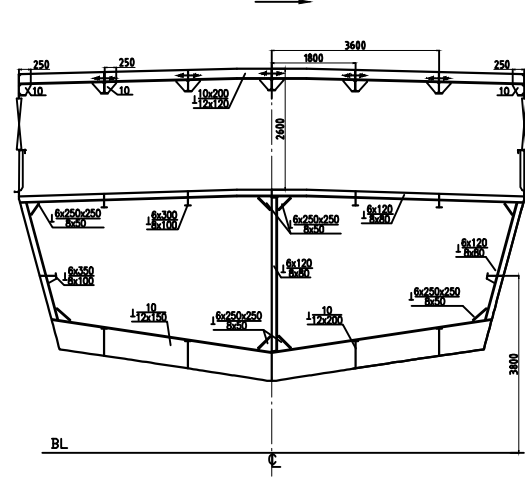
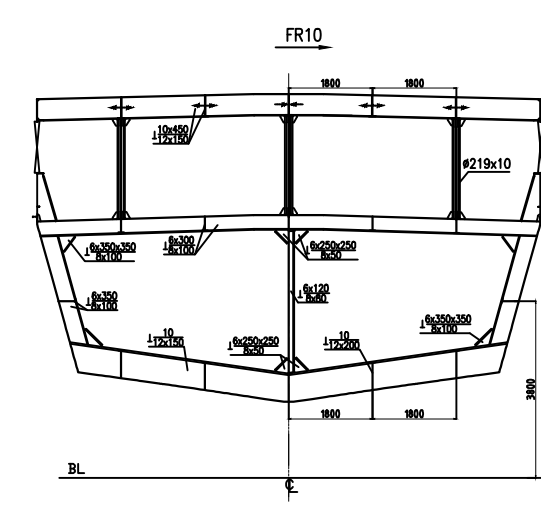
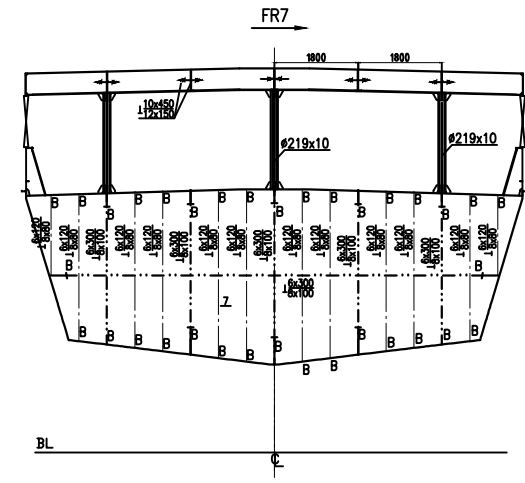
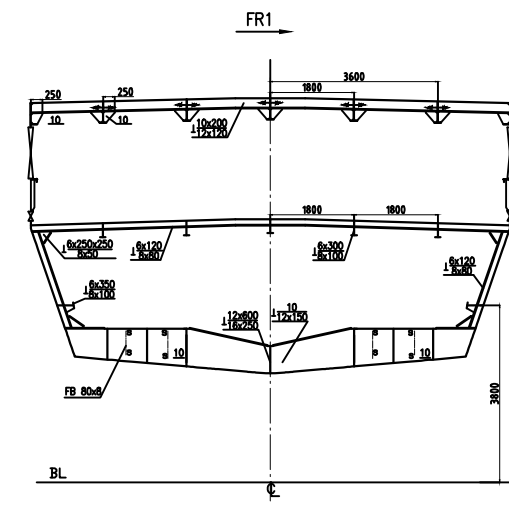
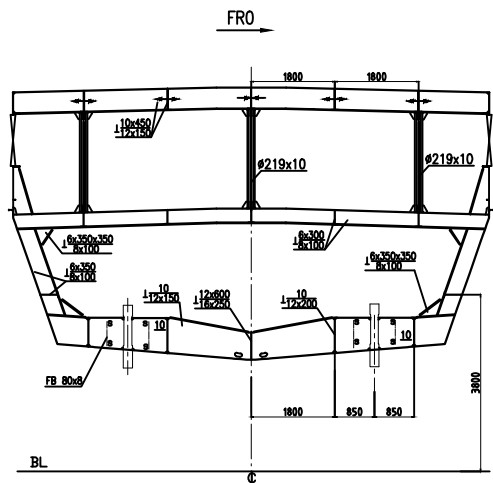
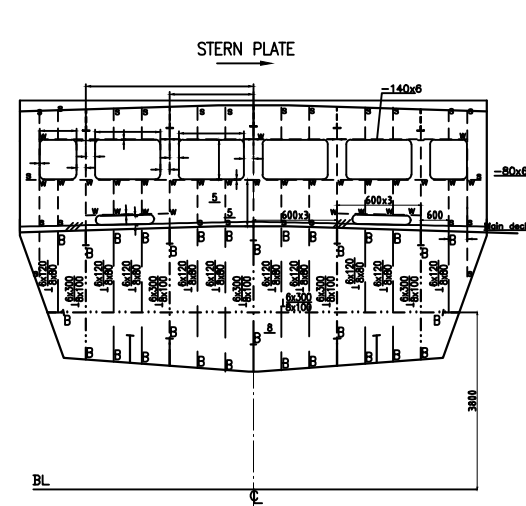
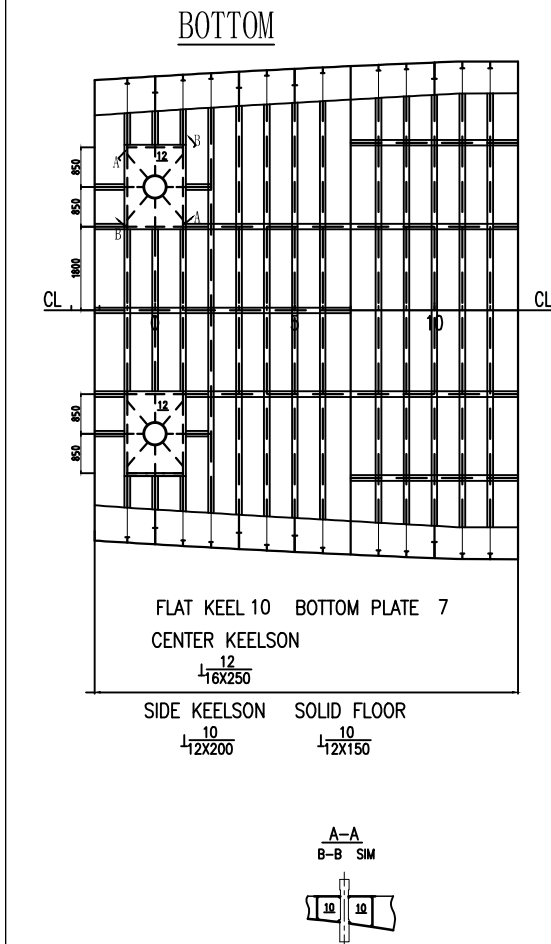
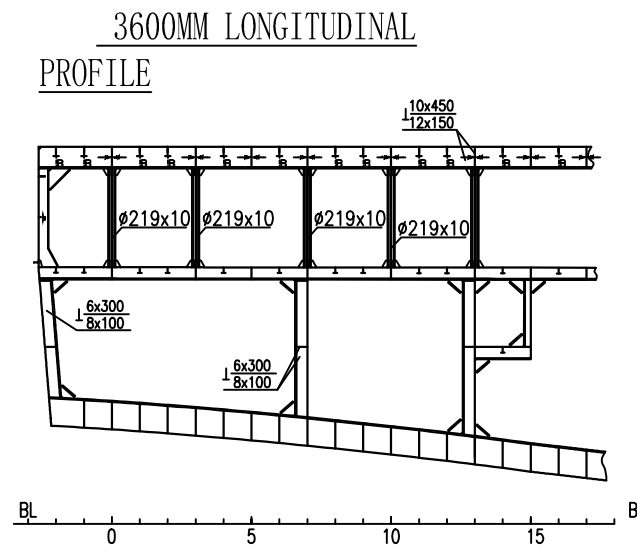
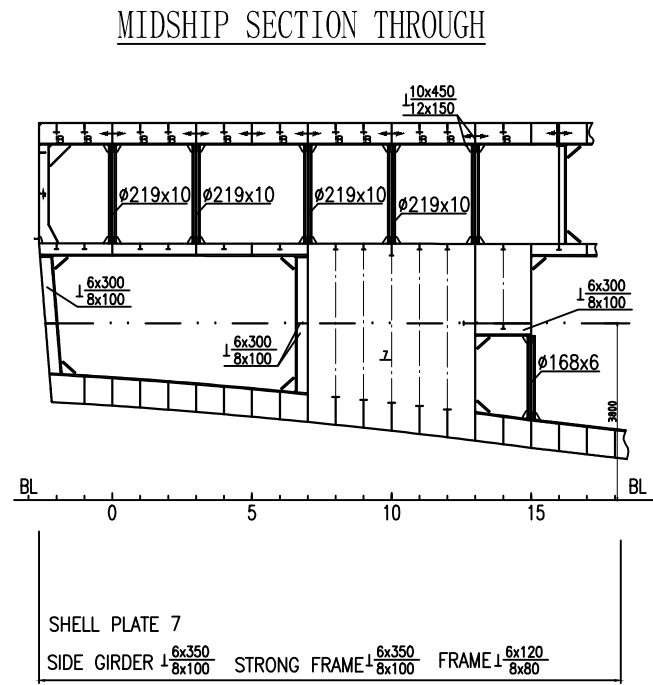
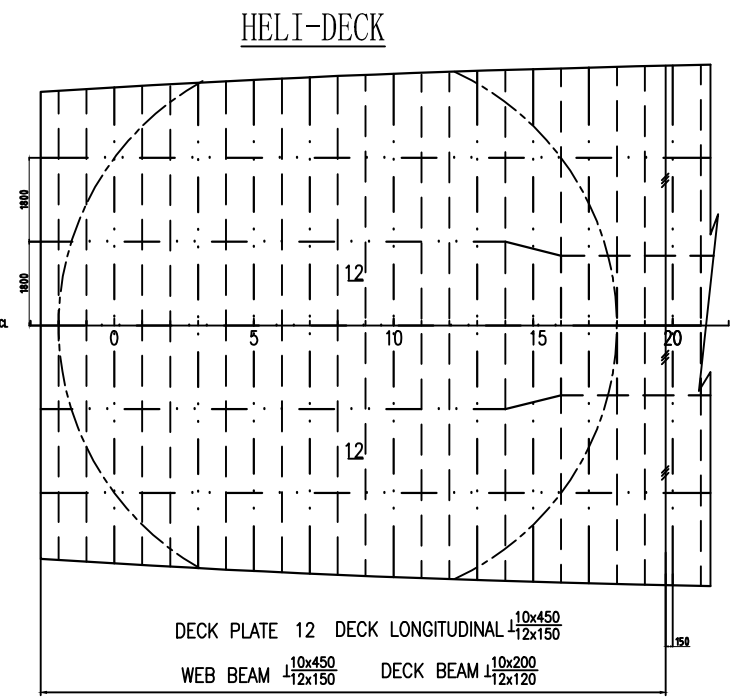
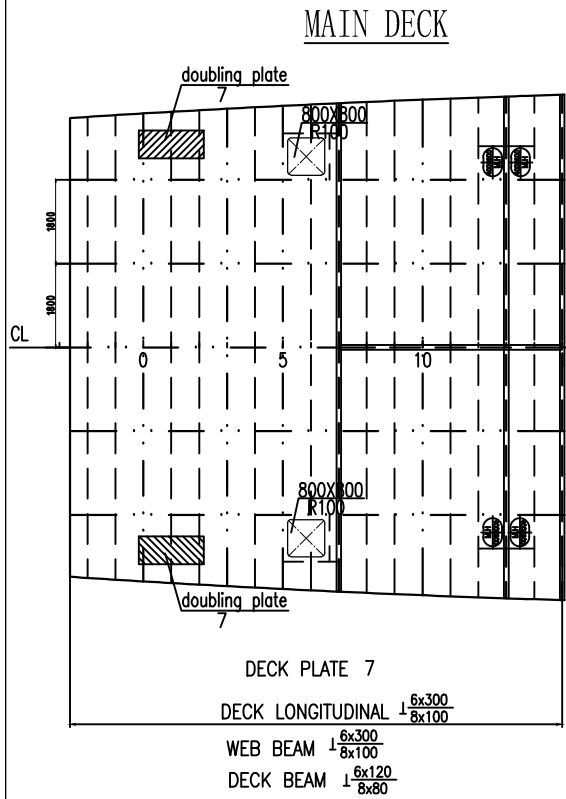


PROJECT NAME			KAPAL PATROLI 73M		HULL NO.		388	
YEAR	2017	DATE	DRAWING / DOCUMENT NAME					
			CONSTRUCTION PROFILE AND DECK PLAN					
DRAWN BY	J&K	14/07	OWNER			CLASS		
CHECKED BY	JVD.	15/07	POLAIR			BKI		
APPROVED BY	IDR.	15/07				SCALE		
						1 : 150		
			BUILDER			SIZE		
						A1		
ALL RIGHTS RESERVED ARE PROPERTY OF PT. DRU						SHEET		
						1/1		
PROJECTION SYMBOL						DRW/DOCUMENT NO. :		
						<b>PT. DAYA RADAR UTAMA</b> SHIPYARD & ENGINEERING		
						<b>388BH002</b>		
						REV.		
						1 2 3		



**LAMPIRAN D**  
**AFTER CONSTRUCTION KAPAL PATROLI LEPAS PANTAI**





Noted:  
1. The hull strcuturer material is use AH36

THIS DRAWING OR DOCUMENT IS THE PROPERTY OF THE NANJING SHIPTON MARINE DESIGN CO., LTD AND MUST NOT BE PARTIALLY OR WHOLLY COPIED OR USED FOR ANY OTHER PURPOSE WITHOUT PRIOR WRITTE PERMISSION OF NANJING SHIPTON MARINE DESIGN CO., LTD				
HULL NO.	PROJECT 73M MARITIME PATROL VESSEL			
APPD BY	TITLE  AFTER CONSTRUCTION			
CHKD BY				
DWN. BY	CLASS	DATE	SHEET 1 OF 1	
STAN. BY	DWG. NO. SMD1628-110-8	SCALE 1:100	REV. NO. 01	
OWNER				
BUILDER	PT. Daya Radar Utama			
	南京西普德船舶设计有限公司 NANJING SHIPTON MARINE DESIGN CO.,LTD.(SMD) TEL:+86-15850550927 E-mail:biz@shipton.cn			

B I B L I O G R A P H Y				
REV. NO.	DATE	DESCRIPTION	DWN	CHKD
A	2016-6-28	Updated as owner's comment		
B	2016-7-28	Updated as BKi's comment		
01	2016-11-01	Updated as BKi's comment		

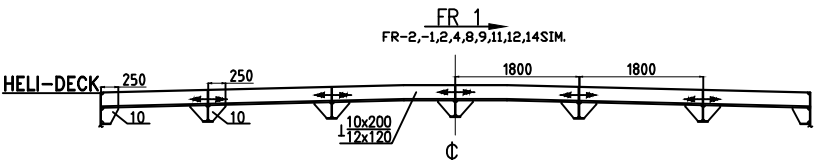
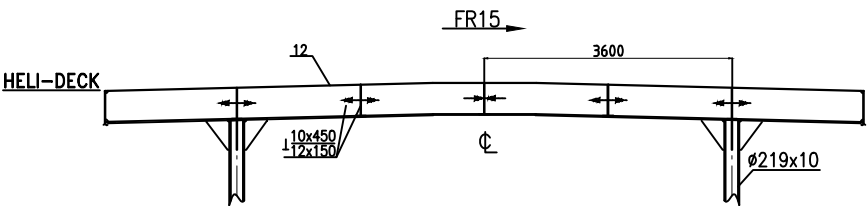
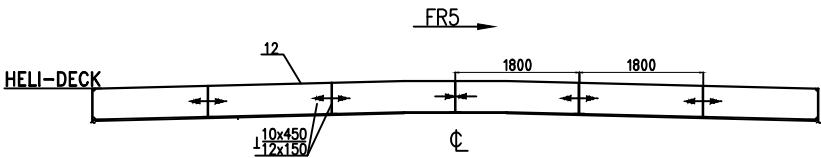
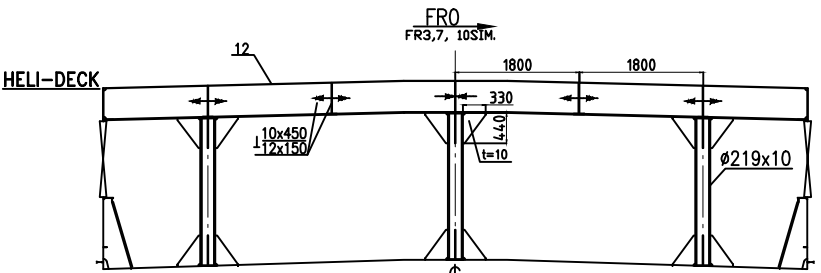
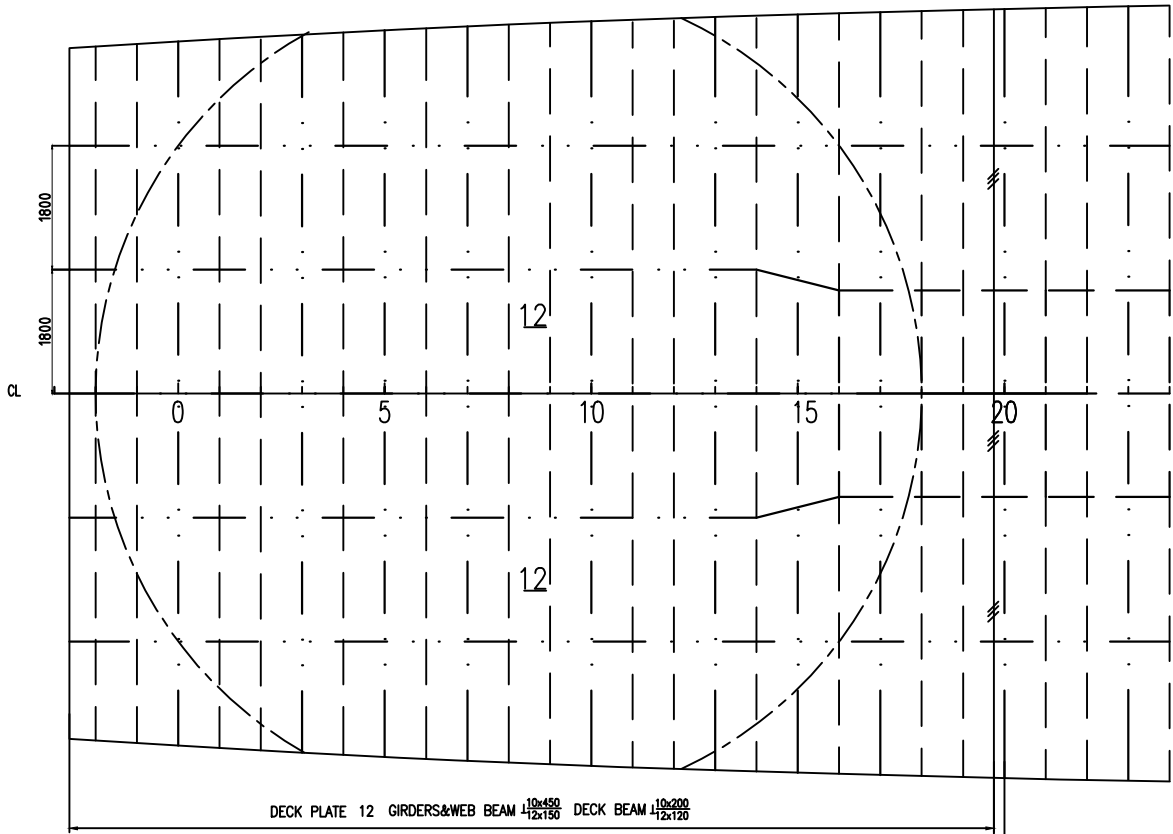


**LAMPIRAN E**  
**HELIDECK CONSTRUCTION KAPAL PATROLI LEPAS**  
**PANTAI**

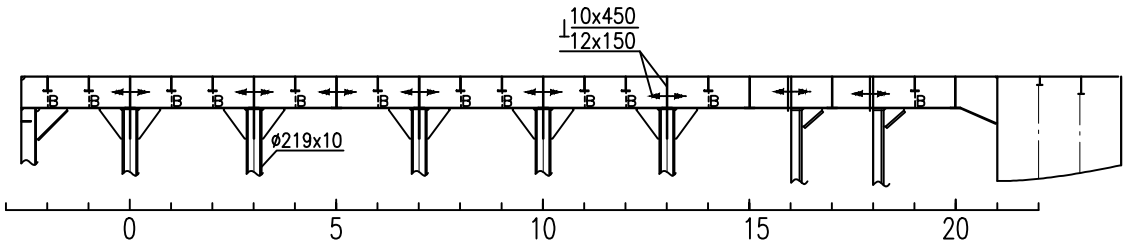




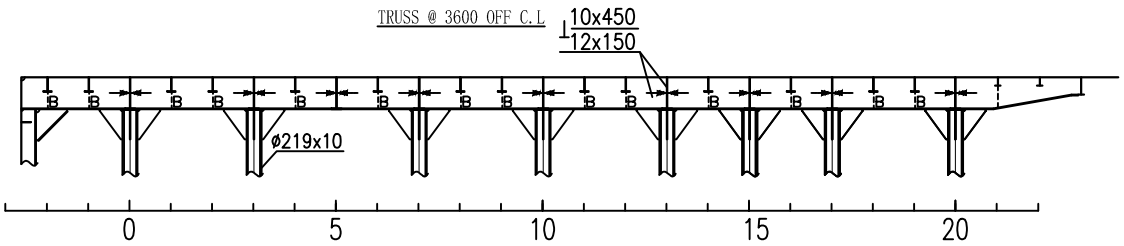
HELI-DECK



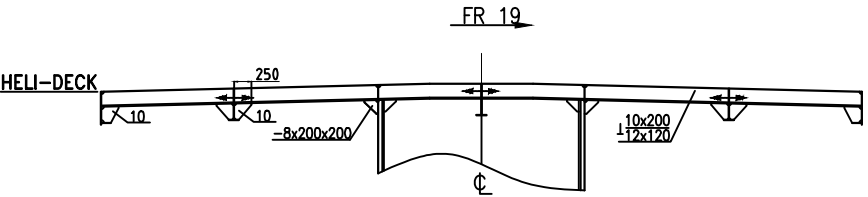
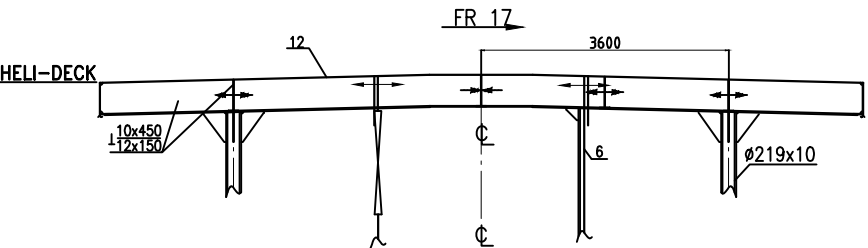
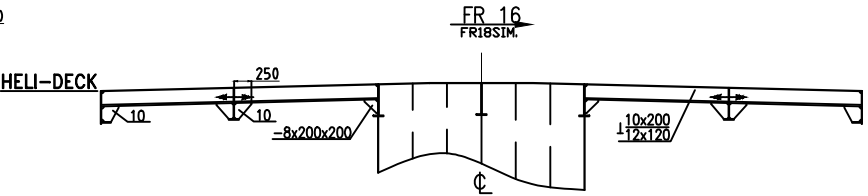
MIDSHIP SECTION THROUGH




TRUSS @ 3600 OFF C.L.



Helicopter EC135 T2+  
Length: 10.2 m (33 ft 6 in)  
Height: 3.51 m (11 ft 6 in)  
Empty weight: 1,455 kg (3,208 lb)  
Max takeoff weight: 2,910 kg (6,415 lb)  
Main rotor diameter: 10.2 m (33 ft 6 in)  
Main rotor area: 81.7 m<sup>2</sup> (879 sq ft)  
Perimeter 'D' marking 12m



THIS DRAWING OR DOCUMENT IS THE PROPERTY OF THE NANJING SHIPTON MARINE DESIGN CO., LTD AND MUST NOT BE PARTIALLY OR WHOLLY COPIED OR USED FOR ANY OTHER PURPOSE WITHOUT PRIOR WRITTE PERMISSION OF NANJING SHIPTON MARINE DESIGN CO., LTD				
HULL NO.		PROJECT		
		73M MARITIME PATROL VESSEL		
APPD BY		TITLE		
CHKD BY		HELIDECK CONSTRUCTION		
DWN. BY		CLASS	DATE	SHEET 1 OF 1
STAN. BY		DWG. NO.	SCALE	REV. NO.
		SMD1628-110-23	1:50	A
OWNER				
BUILDER				
		南京西普德船舶设计有限公司 NANJING SHIPTON MARINE DESIGN CO.,LTD. (SMD) TEL:+86-15850550927 E-mail:biz@shipton.cn		



**LAMPIRAN F**  
**PERHITUNGAN ANALISIS HIDRODINAMIS**



DATA KAPAL			
Nama	KP. YUDISTIRA 8003	Owner	POLAIRUD POLRI
Loa	73 metres	Hc	5,5 metres
Lpp	68 metres	Lc	67,8528 metres
B	11,35 metres	material	AH36 steel
H	5,5 metres	Reh	355 N/mm <sup>2</sup>
T	3 metres	E	200000 N/mm <sup>2</sup>
V	18 knots	k	0,72
Personel	68 persons		
frame spacing	600 mm		

70,72

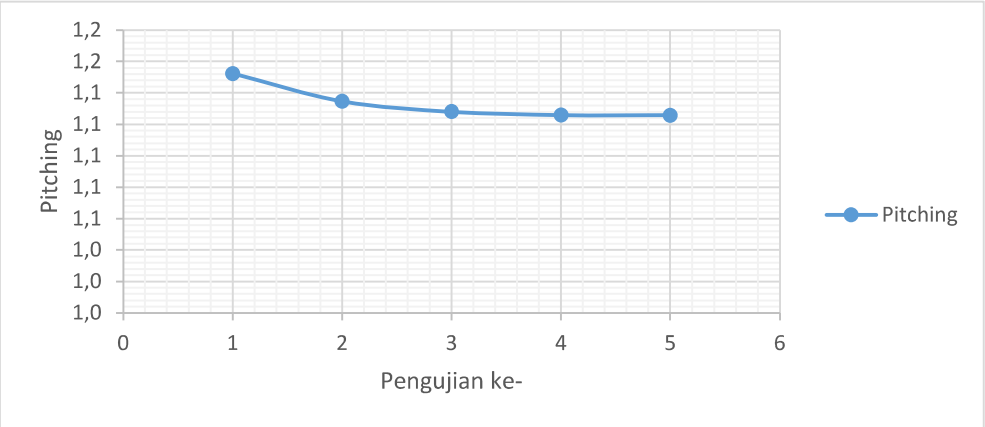
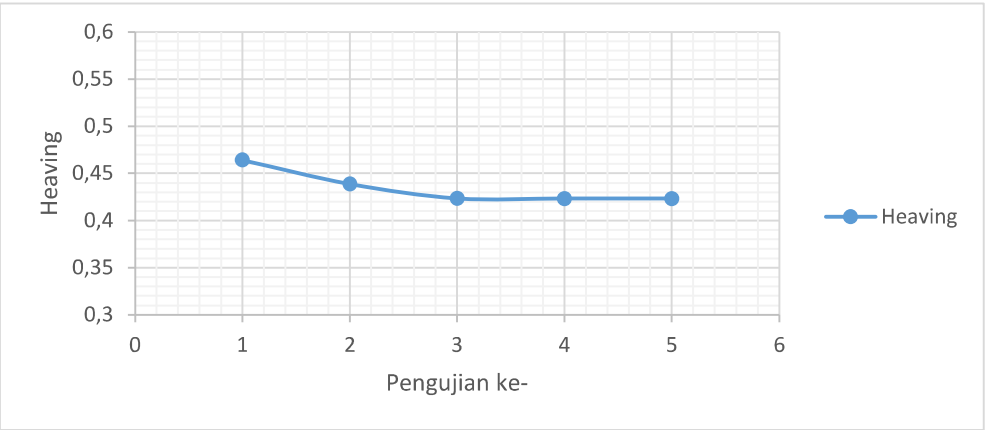
DATA GELADAK	
L hd	12,4 metres
B hd max	10,1 metres
B hd min	10 metres
B hd MEAN	10,05 metres
H hd	2,6 metres

DATA PILAR	
Tinggi	211,8 cm
diameter ex	21,9 cm
diameter in	20,9 cm
tebal	1 cm

DATA HELIKOPTER	
MTOW =	4,3 tonnes
Diameter Rotor max =	11,94 metres
L max =	13,73 metres
Jarak m/w ke m/w =	1,9 metres
Jarak m/w ke f/w =	3,64 metres

RADIUS OF GYRATION	
Kxx =	3,859 metres
Kyy =	18,25 metres
Kzz =	18,98 metres
LCG =	-3,164 metres from Midship
VCG =	3 metres from Baseline

Uji	Ukuran Elemen	Banyak Elemen	Luasan RAO		selisih	
			Heaving	Pitching		
1	2 m	1515	0,4642	1,1524		
2	1,9 m	1740	0,4388	1,1347	5,474%	1,767%
3	1,8 m	1829	0,4236	1,1281	3,465%	0,659%
4	1,7 m	1991	0,4234	1,1259	0,038%	0,226%
5	1,6 m	2275	0,4234	1,1259	0,012%	0,001%



Pembebanan

Massa = 2,63,E+04 kg

r girasi = 18,7881 m

Beban Transisional

$F = m \cdot a$

Beban Rotasional

$a = \theta \cdot r$

$F = m \cdot a$

#### Percepatan Olah Gerak Kapal

Heading 0 deg

Akselerasi Heaving

Wave Height (m)	Wave Period (sec)					
	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5
0 - 0,5	0,021	0,018	0,014			
0,5 - 1			0,042	0,026		
1 - 1,5				0,043	0,034	
1,5 - 2					0,048	0,050
2 - 2,5						0,064

Satuan dalam m/s<sup>2</sup>

Akselerasi Pitching

Wave Height (m)	Wave Period (sec)					
	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5
0 - 0,5	0,001	0,001	0,001			
0,5 - 1			0,002	0,001		
1 - 1,5				0,002	0,002	
1,5 - 2					0,003	0,004
2 - 2,5						0,005

Satuan dalam rad/s<sup>2</sup>

Heading 45 deg

Akselerasi Heaving

Wave Height (m)	Wave Period (sec)					
	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5
0 - 0,5	0,001	0,001	0,004			
0,5 - 1			0,011	0,025		
1 - 1,5				0,042	0,064	
1,5 - 2					0,090	0,114
2 - 2,5						0,146

Satuan dalam m/s<sup>2</sup>

Akselerasi Pitching

Wave Height (m)	Wave Period (sec)					
	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5
0 - 0,5	0,000	0,000	0,001			
0,5 - 1			0,002	0,003		
1 - 1,5				0,005	0,005	
1,5 - 2					0,007	0,008
2 - 2,5						0,010

Satuan dalam rad/s<sup>2</sup>

Heading 90 deg  
Akselerasi Heaving

Wave Height (m)	Wave Period (sec)					
	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5
0 - 0,5	0,236	0,293	0,270			
0,5 - 1			0,809	0,831		
1 - 1,5				1,388	0,916	
1,5 - 2					1,292	1,143
2 - 2,5						1,476

Satuan dalam m/s<sup>2</sup>

Akselerasi Pitching

Wave Height (m)	Wave Period (sec)					
	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5
0 - 0,5	0,007	0,009	0,009			
0,5 - 1			0,026	0,025		
1 - 1,5				0,042	0,028	
1,5 - 2					0,039	0,037
2 - 2,5						0,047

Satuan dalam rad/s<sup>2</sup>

Heading 135 deg  
Akselerasi Heaving

Wave Height (m)	Wave Period (sec)					
	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5
0 - 0,5	0,033	0,091	0,176			
0,5 - 1			0,529	0,975		
1 - 1,5				1,624	1,436	
1,5 - 2					2,006	1,605
2 - 2,5						2,062

Satuan dalam m/s<sup>2</sup>

Akselerasi Pitching

Wave Height (m)	Wave Period (sec)					
	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5
0 - 0,5	0,002	0,008	0,015			
0,5 - 1			0,046	0,066		
1 - 1,5				0,110	0,090	
1,5 - 2					0,125	0,108
2 - 2,5						0,138

Satuan dalam rad/s<sup>2</sup>

Heading 180 deg  
Akselerasi Heaving

Wave Height (m)	Wave Period (sec)					
	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5
0 - 0,5	0,048	0,070	0,123			
0,5 - 1			0,369	0,599		
1 - 1,5				0,998	1,301	
1,5 - 2					1,822	1,515
2 - 2,5						1,947

Satuan dalam m/s<sup>2</sup>

Akselerasi Pitching

Wave Height (m)	Wave Period (sec)					
	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5
0 - 0,5	0,004	0,005	0,010			
0,5 - 1			0,031	0,055		
1 - 1,5				0,091	0,095	
1,5 - 2					0,133	0,107
2 - 2,5						0,138

Satuan dalam rad/s<sup>2</sup>



Beban Akibat Olah Gerak Kapal

Heading 0 deg

Akselerasi Heaving

Wave Height (m)	Wave Period (sec)					
	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5
0 - 0,5	560,822	478,615	370,919			
0,5 - 1			1112,694	683,934		
1 - 1,5				1128,462	906,360	
1,5 - 2					1269,207	1308,370
2 - 2,5						1674,458

Satuan dalam N

Akselerasi Pitching

Wave Height (m)	Wave Period (sec)					
	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5
0 - 0,5	449,243	475,572	330,670			
0,5 - 1			992,220	740,147		
1 - 1,5				1220,429	1202,900	
1,5 - 2					1666,605	1980,511
2 - 2,5						2546,311

Satuan dalam N

Heading 45 deg

Akselerasi Heaving

Wave Height (m)	Wave Period (sec)					
	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5
0 - 0,5	13,896	24,384	97,569			
0,5 - 1			292,719	659,307		
1 - 1,5				1098,600	1694,559	
1,5 - 2					2371,873	2996,444
2 - 2,5						3852,143

Satuan dalam N

Akselerasi Pitching

Wave Height (m)	Wave Period (sec)					
	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5
0 - 0,5	35,468	93,840	262,794			
0,5 - 1			788,297	1392,762		
1 - 1,5				2321,322	2633,318	
1,5 - 2					3680,457	3711,290
2 - 2,5						4771,028

Satuan dalam N

Heading 90 deg  
Akselerasi Heaving

Wave Height (m)	Wave Period (sec)					
	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5
0 - 0,5	6219,847	7711,471	7110,289			
0,5 - 1			21303,975	21876,403		
1 - 1,5				36535,516	24102,136	
1,5 - 2					34005,438	30092,745
2 - 2,5						38844,991

Satuan dalam N

Akselerasi Pitching

Wave Height (m)	Wave Period (sec)					
	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5
0 - 0,5	3250,839	4623,636	4362,322			
0,5 - 1			13070,512	12445,311		
1 - 1,5			0,000	20836,350	13787,831	
1,5 - 2					19314,739	18087,434
2 - 2,5						23436,467

Satuan dalam N

Heading 135 deg  
Akselerasi Heaving

Wave Height (m)	Wave Period (sec)					
	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5
0 - 0,5	870,296	2406,329	4640,163			
0,5 - 1			13914,986	25648,761		
1 - 1,5				42752,285	37799,237	
1,5 - 2					52786,815	42232,068
2 - 2,5						54279,352

Satuan dalam N

Akselerasi Pitching

Wave Height (m)	Wave Period (sec)					
	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5
0 - 0,5	1149,183	4095,267	7592,205			
0,5 - 1			22781,391	32532,313		
1 - 1,5				54213,019	44412,949	
1,5 - 2					61984,709	53270,985
2 - 2,5						68409,578

Satuan dalam N

Heading 180 deg  
Akselerasi Heaving

Wave Height (m)	Wave Period (sec)					
	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5
0 - 0,5	1258,166	1834,280	3233,386			
0,5 - 1			9712,586	15759,563		
1 - 1,5				26252,011	34244,732	
1,5 - 2					47946,898	39882,956
2 - 2,5						51235,435

Satuan dalam N

Akselerasi Pitching

Wave Height (m)	Wave Period (sec)					
	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5
0 - 0,5	1754,750	2458,486	5085,345			
0,5 - 1			15261,963	27141,311		
1 - 1,5				45235,705	47160,345	
1,5 - 2					65951,659	53035,908
2 - 2,5						68242,519

Satuan dalam N

## **LAMPIRAN G**

### **PERHITUNGAN PEMBEBANAN**



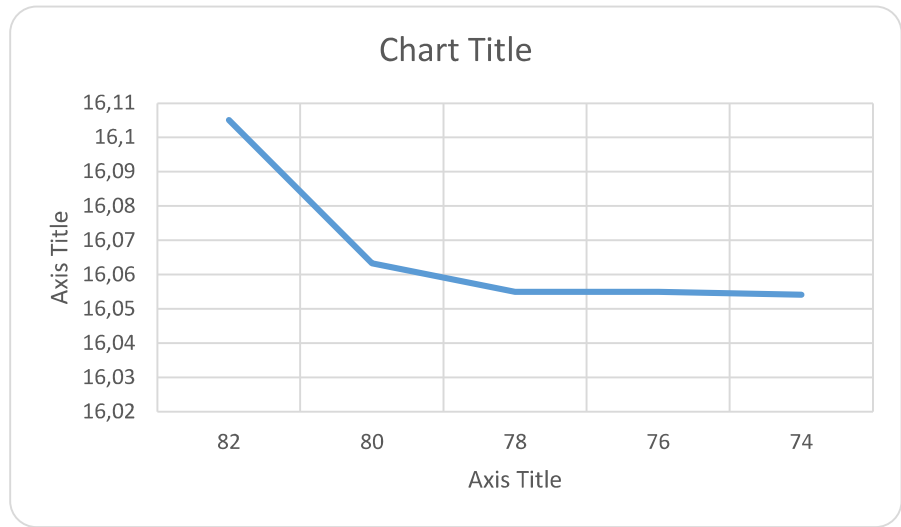
Permissible Stress				
Material	Baja AH36	ReH = E =	355 N/mm <sup>2</sup> 200000 N/mm <sup>2</sup>	
1. Diameter Pillar                                      Luar :     219 mm Dalam :     209 mm 2. Panjang Pilar     :    2118 mm 3. Luasan Penampang                                         :   33,598 cm <sup>2</sup>				
max compressive stress (N/mm2)	$\sigma_p = \frac{K \cdot ReH}{S}$			
	$\sigma_p = 190,348 \text{ N/mm}^2$ $S = 2 \quad (safety factor, in general)$ $K = 1,072 \quad (reduction factor)$ $ReH = 355 \text{ N/mm}^2$ $\phi = 0,466252377$ $n_p = 0,34 \text{ for tubular pillar}$ $\lambda_s = 0,0015$ $t_s = 212 \text{ cm}$ $I_s = 1924,367 \text{ cm}^4$ $i_s = 7,568$ $E = 2,00E+05 \text{ N/mm}^2$ $\pi = 3,14$			
Safety Factor for substructures	$\sigma_{perm} = \frac{235}{k \times y_f}$ $k = \frac{295}{ReH + 60} \quad (material factor)$ $k = 0,710843373$			
	Structural Element	y f		
		LC 1, 2	LC 3	LC 4
	Sttffeners	1,25	1,1	1
	Girder	1,45	1,45	1,1
	Pillar System	1,7	2	1,2
	Structural Element	$\sigma_{perm} \text{ (Mpa)}$		
		LC 1, 2	LC 3	LC 4
	Sttffeners	264	301	331
	Girder	228	228	301
	Pillar System	194	165	275
Permissible Global Von Misses Stress	$\sigma_{perm} = 175 \text{ N/mm}^2$			

Pembebanan Helideck Menurut BKI						
Tabel berat geladak						
Jenis	A m2	L m	Volume m3	jumlah	ρ ton/m3	berat ton
pelat geladak	124,62	0,012	1,49544	1	7,85	11,739204
girder T (10x450) (12x150)	0,0063	12,4	0,07812	5	7,85	3,06621
Web Beam T (10x450) (12x150)	0,0063	10,05	0,063315	8	7,85	3,976182
Beam T (10x200) (12x120)	0,00344	10,05	0,034572	12	7,8	3,2359392
berat geladak Me (dalam ton)						22,0175352
Perhitungan Awal						
P = 0.5G x (1 + av)      Beban roda helikopter						
G =	43	g = 10				
av =	F x m	F = 0.11 x Vo (SQRT(L))				
		F = 0,240370576				
		m = m0 - 5 (m0 - 1)x/L				
		x/L = 0,18				
		m0 = 1.5 + F				
		m0 = 1,740370576				
av =	m = 0,255721211	1,063862374				
	P = 26,998 kN					
P hd = Me (1 + av)	beban akibat berat kontruksi geladak					
Me =	22,0175352 kN					
	P hd = 27,64788597 kN					
Pdistribusi = p x Adeck	Beban distribusi pada geladak					
p =	2 kN/m2					
	P dir = 249,24 kN					
Beban LC 1	P = 26,99800604 kN					
	P hd = 27,64788597 kN					
	P dir = 249,24 kN					
Total	P1 = 303,885892 kN					

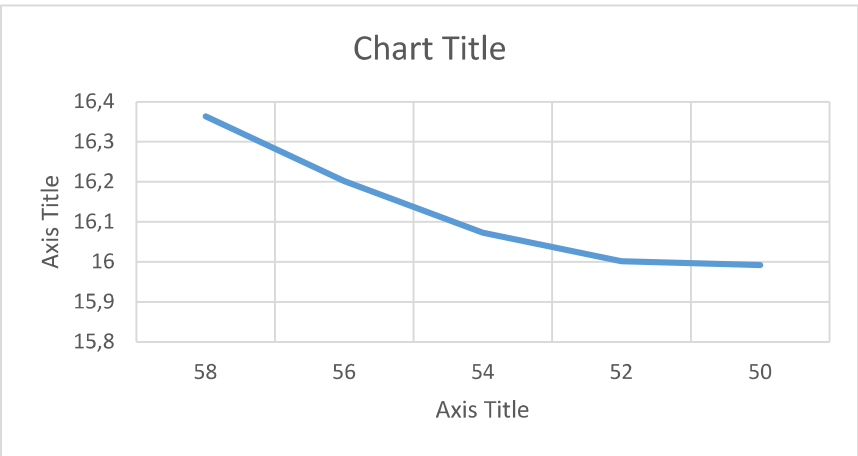
<b>Pembebanan</b>	
$P_H = 0.6 (G + Me) + W$	Gaya horizontal pada geladak
	$G = 43 \text{ kN}$ $Me = 22,0175352 \text{ kN}$ $W = 1.2 \times Adeck$ $W = 149,544 \text{ kN}$ $PH = 188,5545211 \text{ kN}$
$P_V = G + Me$	gaya vertikal
	$PV = 65,0175352 \text{ kN}$
Beban LC 2	$PH = 188,5545211 \text{ kN}$
	$PV = 65,0175352 \text{ kN}$
	<b><math>P_2 = 253,5720563 \text{ kN}</math></b>
<b>Total</b>	

Distribusi Beban pada Geladak					
Jenis Beban	Titik Kontak	Besar	Satuan	Arah	
a	Berat Kontruksi Geladak				
b	Beban Heli				
c	Kondisi takeoff				
a	Berat Kontruksi Geladak				
b	Gaya Vertikal Heli				
c	Beban Geladak (Me)				
d	Gaya Horizontal				
	Me				
	Helikopter				
	Beban angin				

P4 - Helideck Element Size [mm]	Equivalent Stress Maximum [MPa]	
82	16,10501871	
80	16,06335603	0,26%
78	16,05493248	0,05%
76	16,05492874	0,00%
74	16,05417342	0,00%



P7 - Pillar Element Size [mm]	P5 - Equivalent Stress Maximum [MPa]	
58	16,36353203	
56	16,20198644	0,99%
54	16,07244058	0,80%
52	16,00143756	0,44%
50	15,99223351	0,06%





LP 1

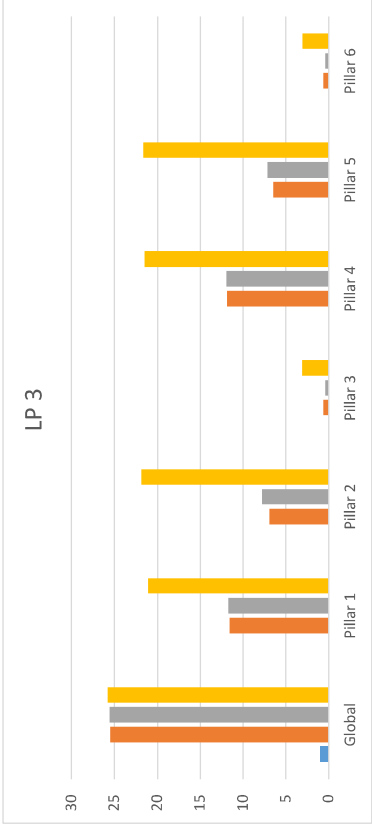
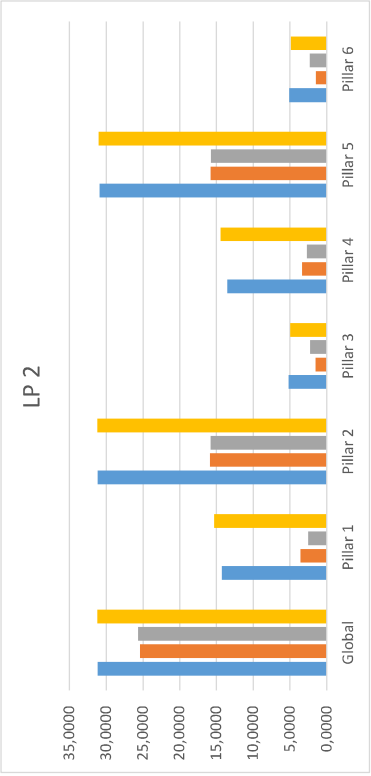
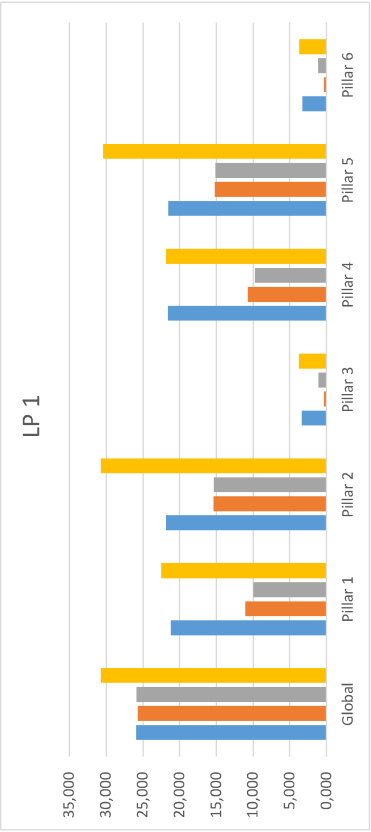
	Global	Pillar 1	Pillar 2	Pillar 3	Pillar 4	Pillar 5	Pillar 6	
Beban Heaving								
Negatif	31,1811	14,2719	31,1811	5,2225	13,5453	30,9083	5,1030	Tegangan Maksimum Pillar
Positif	25,4226	3,5649	15,8982	1,5231	3,3719	15,8360	1,5053	Tegangan Minimum Pillar
Positif	25,6805	2,5743	15,8535	2,2984	2,7151	15,7352	2,3300	
Negatif	31,2257	15,3120	31,2257	4,9867	14,5043	31,0081	4,8760	

LP 2

	Global	Pillar 1	Pillar 2	Pillar 3	Pillar 4	Pillar 5	Pillar 6	
Beban Heaving								
Negatif	30,667	21,475	30,667	4,039	20,895	30,320	3,9754	Tegangan Maksimum Pillar
Positif	25,706	11,036	15,379	0,367	10,720	15,228	0,3730	Tegangan Minimum Pillar
Positif	25,862	10,000	15,335	1,122	9,760	15,128	1,1383	
Negatif	30,712	22,511	30,712	3,804	21,854	30,419	3,7487	

LP 3

	Global	Pillar 1	Pillar 2	Pillar 3	Pillar 4	Pillar 5	Pillar 6	
Beban Heaving								
Negatif	25,883	21,205	21,836	3,387	21,588	21,553	3,304	Tegangan Maksimum Pillar
Positif	25,522	11,561	6,934	0,660	11,865	6,468	0,655	Tegangan Minimum Pillar
Positif	25,597	11,710	7,797	0,423	11,966	7,183	0,429	
Negatif	25,808	21,056	21,880	3,151	21,487	21,651	3,077	



**LAMPIRAN H**  
**PERHITUNGAN *STRESS INTENSITY FACTOR* DAN UMUR**  
**KELELAHAN**



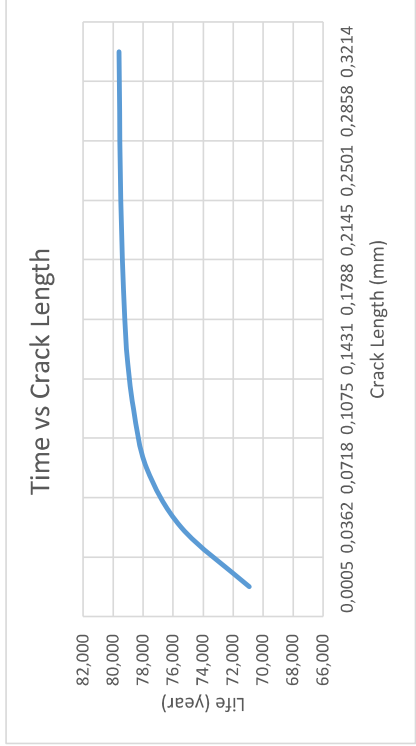
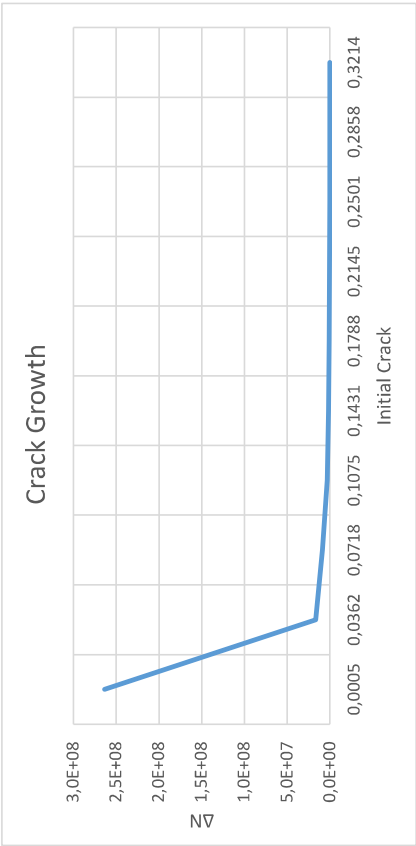
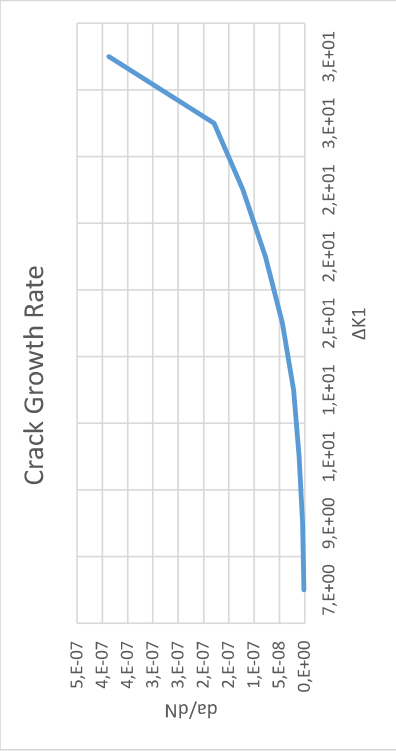
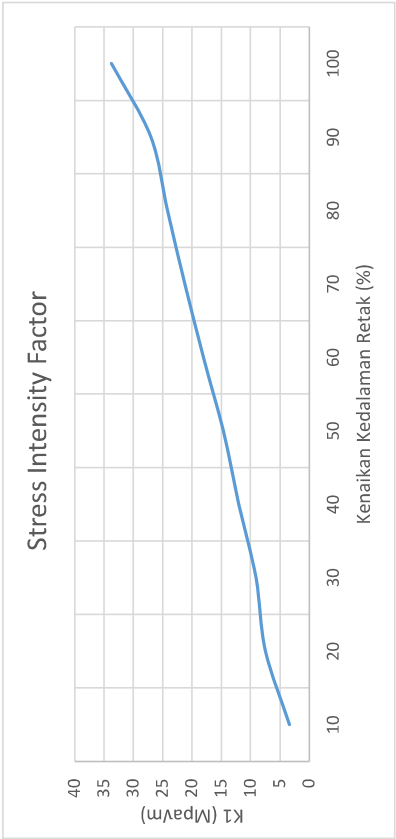
Penentuan Lokasi Retak

Bracket	Titik	Nilai KI (Mpa√m)
1	1.1	0,0312
	1.2	-0,2855
	1.3	-0,0201
	1.4	1,5476
2	2.1	0,0316
	2.2	-0,3512
	2.3	1,3501
	2.4	-0,0899
3	3.1	-2,0803
	3.2	3,3815
	3.3	-0,0389
	3.4	-3,1177
4	4.1	0,2443
	4.2	0,7539
	4.3	-0,0818
	4.4	0,1933
5	5.1	0,1507
	5.2	0,0177
	5.3	-0,1469
	5.4	0,0258
6	6.1	0,8610
	6.2	0,0622
	6.3	-0,0409
	6.4	-0,1706
7	7.1	0,1243
	7.2	0,0055
	7.3	-0,4892
	7.4	-0,6600
8	8.1	-0,5649
	8.2	0,0360
	8.3	-0,0222
	8.4	-0,0219

Kic=	33 Mpa/m	Material AH36	
σ=	27,818 Mpa	Kic=	33(±1,2) Mpa/m
β=	1,12	C=	2E-12
a0=	0,0005 m	m=	3,46
ac=	0,3571003 m	1 Tahun=	31557600 detik
da=	0,03566 m		

	ao	af	K1	da	da/dN	$\Delta N$	N	F	Tahun
1	0,0005	0,0362	3,534821	0,036	1,579E-10	2,3,E+08	2,3,E+08	1,9,E+09	60,83
2	0,0362	0,0718	7,501062	0,036	2,13282E-09	1,7,E+07	2,4,E+08	2,1,E+09	65,33
3	0,0718	0,1075	14,79932	0,036	2,23906E-08	1,6,E+06	2,4,E+08	2,1,E+09	65,76
4	0,1075	0,1431	18,10435	0,036	4,49737E-08	7,9,E+05	2,4,E+08	2,1,E+09	65,98
5	0,1431	0,1788	20,89294	0,036	7,38292E-08	4,8,E+05	2,5,E+08	2,1,E+09	66,11
6	0,1788	0,2145	23,35085	0,036	1,08482E-07	3,3,E+05	2,5,E+08	2,1,E+09	66,19
7	0,2145	0,2501	25,57362	0,036	1,4859E-07	2,4,E+05	2,5,E+08	2,1,E+09	66,26
8	0,2501	0,2858	27,61806	0,036	1,93891E-07	1,8,E+05	2,5,E+08	2,1,E+09	66,31
9	0,2858	0,3214	29,52126	0,036	2,44173E-07	1,5,E+05	2,5,E+08	2,1,E+09	66,35
10	0,3214	0,3571	31,30898	0,036	2,99257E-07	1,2,E+05	2,5,E+08	2,1,E+09	66,38

Hasil Ansys										
	ao (m)	af (mm)	da (m)	K1 (Mpa√m)	da/dN (m/cycle)	ΔN (cycle)	N (cycle)	F	Tahun	Persentase
	10	0,0005	0,0362	0,036	3,3815	1,354E-10	2,6,E+08	2,63,E+08	2,2,E+09	70,917
	20	0,0362	0,0718	0,036	7,481	2,113E-09	1,7,E+07	2,80,E+08	2,4,E+09	75,462
	30	0,0718	0,1075	0,036	9,095	4,154E-09	8,6,E+06	2,89,E+08	2,5,E+09	77,774
	40	0,1075	0,1431	0,036	11,986	1,080E-08	3,3,E+06	2,92,E+08	2,5,E+09	78,664
	50	0,1431	0,1788	0,036	14,678	2,176E-08	1,6,E+06	2,94,E+08	2,5,E+09	79,105
	60	0,1788	0,2145	0,036	18,050	4,451E-08	8,0,E+05	2,94,E+08	2,5,E+09	79,321
	70	0,2145	0,2501	0,036	21,194	7,758E-08	4,6,E+05	2,95,E+08	2,5,E+09	79,445
	80	0,2501	0,2858	0,036	24,166	1,222E-07	2,9,E+05	2,95,E+08	2,5,E+09	79,523
	90	0,2858	0,3214	0,036	27,002	1,793E-07	2,0,E+05	2,95,E+08	2,5,E+09	79,577
	100	0,3214	0,3571	0,036	33,726	3,871E-07	9,2,E+04	2,96,E+08	2,5,E+09	79,602








**LAMPIRAN I**  
**KATALOG BAJA ASTM 131 AH36**



Data sheets for over **125,000** metals, plastics, ceramics, and composites.[Advertise with MatWeb!](#)[REGISTER NOW](#)[HOME](#) • [SEARCH](#) • [TOOLS](#) • [SUPPLIERS](#) • [FOLDERS](#) • [ABOUT US](#) • [FAQ](#) • [LOG IN](#)Searches: [Advanced](#) | [Category](#) | [Property](#) | [Metals](#) | [Trade Name](#) | [Manufacturer](#) | [Recently Viewed Materials](#) [SEARCH](#)


**Design better products. Solve problems faster.**

Metallurgy webinars - learn about the metals used in your products  
Topics: steel, aluminum, failure analysis, corrosion, cast iron, electroplating, and more

## ASTM A131 Steel, Grade AH36

**Categories:** [Metal](#); [Ferrous Metal](#); [Alloy Steel](#); [Low Alloy Steel](#); [ASTM Steel](#); [Carbon Steel](#); [Low Carbon Steel](#)**Material Notes:** Structural steel used in ship construction

High-strength, low-alloy

Materials as large as 13mm thick may be semikilled

**Key Words:** UNS K01806**Vendors:** No vendors are listed for this material. Please [click here](#) if you are a supplier and would like information on how to add your listing to this material. [Printer friendly version](#) [Download as PDF](#) [Download to Excel \(requires Excel and Windows\)](#) [Export data to your CAD/FEA program](#)Add to Folder: ☐ My Folder ▼ **0/0**

### Physical Properties

	Metric	English	Comments
Density	7.80 g/cc	0.282 lb/in <sup>3</sup>	Typical of ASTM Steel

### Mechanical Properties

	Metric	English	Comments
Tensile Strength, Ultimate	490 - 620 MPa	71100 - 89900 psi	
Tensile Strength, Yield	350 MPa	50800 psi	
Elongation at Break	19 %	19 %	in 200 mm
	22 %	22 %	in 50 mm
Modulus of Elasticity	200 GPa	29000 ksi	Typical Carbon Steel
Bulk Modulus	160 GPa	23200 ksi	Typical for Steel
Poissons Ratio	0.29	0.29	Typical Carbon Steel
Shear Modulus	80.0 GPa	11600 ksi	Typical for Steel

### Electrical Properties

	Metric	English	Comments
--	--------	---------	----------

Electrical Resistivity 0.0000170 ohm-cm 0.0000170 ohm-cm Typical Carbon Steel

Thermal Properties	Metric	English	Comments
CTE, linear	12.0 $\mu\text{m/m-}^\circ\text{C}$	6.67 $\mu\text{in/in-}^\circ\text{F}$	Typical Carbon Steel
Specific Heat Capacity	0.470 J/g- $^\circ\text{C}$	0.112 BTU/lb- $^\circ\text{F}$	Typical Carbon Steel
Thermal Conductivity	52.0 W/m-K	361 BTU-in/hr-ft $^2$ - $^\circ\text{F}$	Typical Carbon Steel

Component Elements Properties	Metric	English	Comments
Carbon, C	<= 0.18 %	<= 0.18 %	
Chromium, Cr	0.25 %	0.25 %	
Copper, Cu	0.35 %	0.35 %	
Iron, Fe	97.09 %	97.09 %	as balance
Manganese, Mn	0.90 - 1.6 %	0.90 - 1.6 %	
Molybdenum, Mo	0.080 %	0.080 %	
Nickel, Ni	0.40 %	0.40 %	
Niobium, Nb (Columbium, Cb)	0.050 %	0.050 %	
Phosphorous, P	<= 0.040 %	<= 0.040 %	
Silicon, Si	0.10 - 0.50 %	0.10 - 0.50 %	
Sulfur, S	<= 0.040 %	<= 0.040 %	
Vanadium, V	0.10 %	0.10 %	

#### References for this datasheet.

Some of the values displayed above may have been converted from their original units and/or rounded in order to display the information in a consistent format. Users requiring more precise data for scientific or engineering calculations can click on the property value to see the original value as well as raw conversions to equivalent units. We advise that you only use the original value or one of its raw conversions in your calculations to minimize rounding error. We also ask that you refer to MatWeb's [terms of use](#) regarding this information. [Click here](#) to view all the property values for this datasheet as they were originally entered into MatWeb.

#### Users viewing this material also viewed the following:

[ASTM A131 Steel, grade DH36](#)

[ASTM A131 Steel, grade EH36](#)

[ASTM A572 Steel, grade 50](#)

[ASTM A131 Steel, grade A](#)

[ASTM A36 Steel, plate](#)

MSA131AH36 / 142764



**PERMANENT MOLD ALUMINUM CASTINGS**  
[www.guptapermold.com](http://www.guptapermold.com)  
*North America's preferred supplier for permold aluminum castings*



[Subscribe to Premium Services](#)

Searches: [Advanced](#) • [Composition](#) • [Property](#) • [Material Type](#) • [Manufacturer](#) • [Trade Name](#) • [UNS Number](#)

**LAMPIRAN J**  
**KATALOG HELIKOPTER DAUPHIN AS 365 N3**





**Capacity:** 1/2 pilot(s) + up to 11 passengers

**Fast cruise speed: 145 kts.**

## External dimensions

**Overall length with blade in front:** 42.65 ft

**Minimum width with all blades:** 39.17 ft

**Overall width with 2 opposite blades removed:** 10.66 ft.

## Documentation

[AS365 technical files](#)

## General data

**Empty weight of standard aircraft:** 5,315 lbs.

**Maximum takeoff weight:** 9,480 lbs.

**Useful load:** 4,165 lbs.

**Maximum takeoff weight (with external load):** 9,480 lbs.

**Usable fuel capacity (standard tank):** 300 gal.

**Powerplant:** 2 Turbomeca Arriel 2C

**Cabin volume:** 180.10 cu. ft.

**Baggage compartment volume:** 38.8 cu. ft.

**Standard seating capacity:** 1+12 or 2+11

## \*Performance data

**Never exceed speed:** 155 kts.

**Fast cruise speed:** 145 kts.

**Maximum range (with no reserves):** 427 nm.

**Maximum endurance (with no reserves):**  
4.1 hrs.

**Hover In ground effect ceiling (5 ft. skid height):** 8,596 ft.

**Hover out of ground effect ceiling:** 3,773 ft.

**Takeoff power per engine:** 838 shp.

**Rate of climb (all engines operative, MCP):** 1,321 fpm.

\* Performance data is provided at Sea Level, ISA conditions, maximum gross weight, with standard fuel. It is not intended for flight planning purposes.



## BIODATA PENULIS



Reza Pahlawan Nasution, itulah nama lengkap penulis. Dilahirkan di Tangerang pada 30 September 1997 silam, Penulis merupakan anak kedua dari 3 bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal tingkat dasar pada TK Prawiyasa, kemudian melanjutkan ke SDN Karawaci Baru 2, SMPN 1 Tangerang dan SMAN 2 Tangerang. Setelah lulus SMA, Penulis diterima di Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS pada tahun 2009 melalui jalur SNMPTN tulis.

Di Departemen Teknik Perkapalan Penulis mengambil Program Studi Rekayasa Perkapalan – Konstruksi dan Kekuatan Kapal. Selama masa studi di ITS, selain kuliah Penulis juga pernah menjadi *staff* Departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa HIMATEKPAL FTK ITS 2016/2017 lalu melanjutkan menjadi Kepala Departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa HIMATEKPAL FTK ITS 2017/2018. Selan itu, Penulis juga pernah menjadi panitia ITS EXPO 2016 dan 2017 dalam Divisi *Public Relation*.

Email: reza.pahlawann@yahoo.com